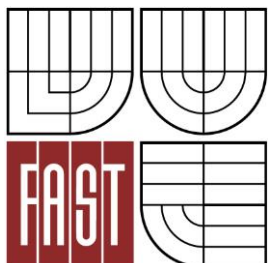




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

NÁVRH HLUBINNÉHO ZALOŽENÍ DOMOVA SENIORŮ V PLZNI

DESIGN OF DEEP FOUNDATION OF ELDERLY CARE HOME IN PLZEŇ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Janočo

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. HELENA BRDEČKOVÁ

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Janočo
Název	Návrh hlubinného založení domova seniorů v Plzni
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Helena Brdečková
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Podklady pro zpracování bakalářské práce budou studentovi předávány postupně.

Doporučená literatura:

MASOPUST, Jan. Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997. 1. vyd. Praha: Pro ČKAIT vydalo IC ČKAIT, 2012, 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.

MASOPUST, Jan. Speciální zakládání staveb. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 2 sv. (141, 150 s.). ISBN 80-214-2770-1.

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla. 1. Praha: ČNI, 2006.

ČSN EN 1997-2 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. 1. Praha: ČNI, 2006.

CHLUPÁČ, Ivo. Geologická minulost České republiky. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.

UTÍKAL, A. a J. ČEJKA. Statický výpočet Domova pro seniory v Plzni. Brno: fa A+Z PROJEKTteam, s r. o., 2014.

TURKOVÁ, Hana. Zpráva IG průzkumu, Plzeň - Domov seniorů. Brno: fa BALUN, 2014.

Zásady pro vypracování

Student v bakalářské práci provede zhodnocení geologických a geomorfologických poměrů zájmové lokality a vypracuje návrh hlubinného založení stavby.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

Ing. Helena Brdečková
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Náplní této bakalářské práce je návrh pilotového založení stavby v daných geologických podmínkách. Výchozími podklady přitom jsou zpráva inženýrsko-geologického průzkumu lokality a schéma zatížení základů. Návrh a výpočet je proveden s pomocí tabulkového procesoru Excel a geotechnického software GEO5 – modul Pilota. Oba výpočty jsou nakonec srovnány s výstupem z programu Plaxis 2D.

Klíčová slova

bakalářská práce, hlubinné základy, vrtané piloty, eurokód 7, pilotové založení, domov seniorů v Plzni, mezní stavy, návrhový přístup 2, sedání piloty, mezní zatěžovací křivka, GEO5, Plaxis 2D

Abstract

The objective of this bachelor's thesis is design of pile foundation of a building in specific geological conditions. The design is based on engineering geology report of the area and a scheme of loads on foundations. Calculations are executed in spreadsheet software Excel and in geotechnical software GEO5 – Pile module. Finally, these calculations are compared with Plaxis 2D output.

Keywords

bachelor's thesis, deep foundations, bored piles, eurocode 7, pile foundations, senior's home in Plzeň, limit state, design approach 2, settlement of a pile, load-settlement curve, GEO5, Plaxis 2D

Bibliografická citace VŠKP

Martin Janočo *Návrh hlubinného založení domova seniorů v Plzni*. Brno, 2016. 55 s., 19 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Helena Brdečková

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 3. 2016

.....
podpis autora

Martin Janočo

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucí mé bakalářské práce, Ing. Heleně Brdečkové, za její vstřícnost, cenné připomínky a motivaci, díky níž byla tvorba práce příjemným završením bakalářského stupně mého studia na vysoké škole.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	HLUBINNÉ ZÁKLADY	10
2.1	Piloty	10
2.1.1	Ražené piloty.....	11
2.1.2	Vrtané piloty.....	11
2.2	Mikropiloty	17
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	19
3.1	Popis objektu a lokality	19
3.1	Geomorfologie	20
3.2	Geologické a hydrogeologické poměry	21
3.3	Geotechnické parametry.....	22
3.4	Zvolený typ základů.....	24
3.5	Výpočet	29
3.5.1	Metodika výpočtu a dosazení.....	29
3.5.2	Porovnání výsledků Excel x GEO5.....	38
3.5.3	Výpočet sedání v Plaxis 2D	39
3.5.4	Návrh výztuže	47
3.6	Technologický postup prací	48
4	ZÁVĚR	49
5	POUŽITÁ LITERATURA.....	50
6	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	51
7	SEZNAM TABULEK.....	53
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

1 ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh hlubinného založení objektu domova s pečovatelskou službou v Plzni. V teoretické části práce budou stručně popsány jednotlivé způsoby hlubinného zakládání s důrazem na piloty, jejich rozdělení a technologický postup provádění.

Náplní praktické části práce bude návrh a výpočet pilotového základu stavby domova seniorů, jež má být realizována v letech 2015/2016. V místě stavby se dříve nacházela čistička odpadních vod, po jejímž odstranění zde zůstala mocná vrstva navážek. Navíc zde byla inženýrsko-geologickým průzkumem zjištěna zvýšená a proměnlivá hladina podzemní vody. Jedná se tedy o typický případ pro použití pilotového založení, kdy je třeba přenést zatížení ze svrchní stavby do hluších, únosnějších vrstev.

Podkladem pro vypracování jsou zpráva inženýrsko - geologického průzkumu, provedeného v místě stavby firmou Balun, s.r.o., a schéma zatížení základů vycházející ze statického výpočtu svrchní stavby.

Výpočet pilot podle mezních stavů je proveden s pomocí tabulkového procesoru Excel a pro srovnání je doplněn výsledky získanými z výpočetních programů GEO5 a Plaxis 2D.

2 HLUBINNÉ ZÁKLADY

Účelem základů je přenos zatížení ze svrchní stavby do základové půdy. Při nedostatečně únosné základové půdě nebo při zakládání pod hladinu podzemní vody je nutné přenést dané zatížení do únosnějších vrstev ve větší hloubce. K tomu slouží právě hlubinné základy, mezi něž patří studně, kesony, piloty a mikropiloty, podzemní stěny. Studně a kesony se dnes již nepoužívají a nebudou tedy dále rozvedeny.

2.1 Piloty

Piloty jsou nejrozšířenějším druhem hlubinného zakládání. Jsou to základové prutové prvky většinou kruhového příčného průřezu, který se může po délce i měnit. Jejich úkolem je přenést zatížení z horní konstrukce do hlubších vrstev základové půdy, kde se zpravidla nachází únosnější hornina. Jejich ekonomickou výhodou je zejména podstatné omezení zemních prací, malá spotřeba betonu a zkrácení doby výstavby základů. Další velkou výhodou je omezení sedání, což je důležité zejména u staveb citlivých na nerovnoměrné sedání podloží.

Horní část piloty se nazývá hlava, spodní část pata a povrch dřívku plášť piloty. Podle příčného rozměru rozeznáváme piloty maloprofilové (průměr dřívku 0,3 až 0,6 m) a velkoprofilové (0,6 m až asi 3,0 m). Mohou být svislé nebo šikmé, vyrobené ze dřeva, oceli nebo betonu (železobetonu, předpjatého betonu). Zatížení se může přenášet patou nebo třením na plášti, nejčastěji však kombinací obou.

Dle evropských kritérií se piloty dělí následovně [1]:

- I. Vrtané (replacement)
- II. Ražené (displacement)
 - A. Prefabrikované
 - 1. Betonové
 - 2. Ocelové
 - 3. Dřevěné
 - B. Na místě betonované
 - 1. Dočasně pažené
 - a) Betonové
 - 2. Trvale pažené
 - a) Betonová roura
 - b) Ocelová roura

Základním kritériem rozdělení je to, zda je zemina při provádění piloty odstraněna nebo není. U pilot typu *replacement* (z angl. replace = nahradit) je zemina z prostoru vrtu odstraněna a „nahrazena“ pilotou, zatímco u pilot typu *displacement* je zemina roztlačena pod patu a do stran, avšak není odstraněna. Tomu odpovídá technologie provádění: vrtání, kdy jsou nejdříve v podloží vyvrtány vrty, zemina je odtěžena a vrty jsou vyplněny betonem, nebo ražení pilot, kdy jsou piloty vráženy do země údery beranidla nebo jinak zatlačovány. V České republice v současné době dominují vrtané velkopřůměrové piloty, a to především z důvodu rozmanitosti geologické stavby podloží [2].

Je třeba poznamenat, že neexistuje univerzální druh piloty vhodný pro všechny případy. Při návrhu je vždy třeba zvolit typ piloty v závislosti na druhu stavby, geologických poměrech, hloubce založení, hladině podzemní vody, možnosti provádění a ekonomické efektivnosti.

2.1.1 Ražené piloty

Jedná se o piloty typu displacement, což znamená, že zemina je v průběhu instalace stlačována pod patu piloty a do stran, není však z prostoru odtěžena. Takto instalovat lze piloty beraněním, vibrováním, šroubováním, zatlačováním nebo jejich kombinací. Materiálem ražených pilot může být ocel, litina, dřevo, beton (železobeton, předpjatý beton). Ražené piloty můžeme dále rozdělit na *prefabrikované* a *na místě betonované*.

Prefabrikované ražené piloty jsou předem vyrobené sloupy zaráženy do zeminy. U nás byly prováděny především v minulosti, v současné době se zde již prakticky neprovádějí, naopak v zahraničí často zcela převažují. K již zmíněným nedostatkům ražených pilot přibývá problém při návrhu pilotové skupiny, kdy při dorážení následných pilot ve skupině je zemina již tak zhutněna, že poslední piloty nejdou dorazit. Železobetonové prefabrikované piloty navíc mívají po instalaci poškozené hlavy, které je potřeba posléze odbourat až na úroveň zdravého betonu [1].

Na místě betonované ražené piloty se instalují tak, že se nejdříve v zemině provede otvor beraněním, vibrováním nebo šroubováním razicí roury, a ten je posléze osazen armokošem a zabetonován. Razicí roura se buď v zemi ponechá, čímž vzniknou piloty trvale pažené, nebo se vytáhne a potom se jedná o piloty dočasně pažené. Mezi tyto dočasně pažené piloty řadíme také zvláštní typ, tzv. předrážené piloty typu Franki.

2.1.2 Vrtané piloty

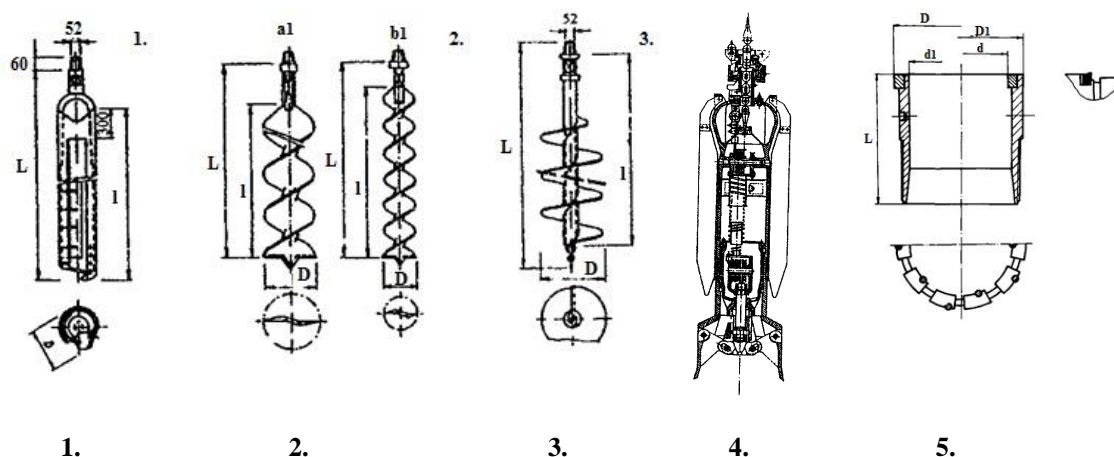
V případě pilotování v těžké zemině, při proměnných délkách pilot a v blízkosti budov, které by mohly být poškozeny otřesy od beranění, je vhodné použít piloty vrtané

namísto beraněných. Vrtané piloty jsou sloupky betonované do vrtů, které se hloubí vrtnými soupravami. V závislosti na geologii podloží se mohou nebo nemusí pažit. Pažení se provádí buď pomocí ocelových pažnic, nebo pomocí jílové suspenze.

Technologický postup provádění vrtaných pilot spočívá ve vyhloubení vrtu příslušné délky a profilu, v přípravných pracích před betonáží, mezi něž patří kontrola a čištění vrtu, případně čerpání podzemní vody, dále v armování piloty, betonáži včetně případného odpažení a konečně v úpravě hlavy piloty [3].

Vrty pro piloty

Vrty se provádějí pomocí vrtných souprav technologií hloubení drapákem, rotačně náběrovým vrtáním nebo pomocí průběžného vrtání nekonečným šnekem. Hloubení drapákem se používá v balvanitých zeminách, v ostatních případech bývá vhodnější rotačně náběrové vrtání. Mezi základní vrtné nástroje patří lžicové vrtáky, tzv. šapy, spirálové vrtáky a vrtací korunky (obr. 2.1.1). Nejvíce používané jsou šapy s vyklápěcím dnem, jejichž výhodou je, že odtěženou zeminu z vrtu lze rovnou vysypat na přistavené nákladní auto a udržovat tak pořádek na staveništi. Používají se v soudržných i v nesoudržných zeminách, pokud neobsahují velké balvany, které neprojdou otvorem na dně šapy. Spirálové vrtáky bývá výhodné použít v jílovitých zeminách, kde umožňují rychlý postup, jejich nevýhodou však je větší riziko porušení stěn vrtu a velké množství zeminy napadené na dně vrtu. Vrtací korunky s břitzy z tvrdého kovu se používají k provrtání tvrdých horninových vložek, pro vrtání ve skalních horninách potom slouží speciální skalní frézy. [3]



Obr. 2.1.1 Vrtné nástroje [6]

1. šapa, 2. spirálový vrták, 3. talířový vrták, 4. drapák, 5. vrtací korunka

Pažení vrtů

Vrt se nemusí pažit, pokud je jisté, že v průběhu instalace piloty nehrozí nestabilita stěn a dna vrtu, např. při vrtání v soudržných zeminách nad hladinou podzemní vody. V průběhu vrtání je ale nutné neustále kontrolovat zda nedochází k deformacím stěn vrtu a zda dovnitř nevniká voda. V ostatních případech je potřeba vrt zapažit, což se provádí pomocí ocelových pažnic nebo jílové suspenze. Z ekologických důvodů se preferuje pažení pomocí ocelových pažnic, použití jílové suspenze je tedy omezeno na pažení lamel podzemních stěn nebo na případy, kdy ocelové pažnice nedostačují (např. pro velký průměr vrtu) [3].

Pažení ocelovými pažnicemi postupuje zároveň s hloubením, popřípadě s předstihem nutným k zabránění zavalení vrtu, a vždy nejméně do hloubky dostatečné pro zajištění stability vrtu. Používají se pažnice jednodílné (černé, varné) nebo spojovatelné, v případě nutnosti hlubšího kontinuálního pažení. Je-li třeba zapažit i hlubší část vrtu, vkládá se další pažnicová kolona, jejíž profil je o stupeň menší než profil předešlé (tab. 2.1.1). Pažnice se instalují buď pomocí speciálního nástroje na vrtné soupravě, nebo pomocí tzv. dopažovacího zařízení, jež slouží jak k instalaci, tak k vytahování pažnic.

Tab. 2.1.1 Průměry varných a spojovatelných pažnic a vrtného nářadí v mm [1]

Průměr varné pažnice	630	720	820	920	1020	1220	1420	-	1620	-
Průměr spojovatelné pažnice	630	750	880	-	1080	1180	-	1500	-	1800
Průměr vrtného nářadí	570	630	770	870	920	1070	1220	1350	1500	1700

Jílová pažící suspenze je směs jílu, vody a případně dalších přísad, která má tixotropní vlastnosti, tj. dokáže mícháním opakovaně měnit skupenství z pevného (gel) na tekuté. Působí na stabilitu stěn a dna vrtu kombinací hydrostatického tlaku a elektrochemických jevů, v jejichž důsledku se na stěně vytvoří filtrační koláč. Suspenze se připravuje v rozplavovači, což je ocelová nádrž s elektromotorem a vrtulí, která zajišťuje dokonalé rozmíchání jílu. Připravená suspenze se může skladovat ve vhodných nádržích, nebo použít, pokud splňuje požadované vlastnosti. Při použití je třeba pažící suspenzi průběžně doplňovat, aby působil dostatečný hydrostatický

přetlak. To je splněno v případě, že sloupec jílové suspenze nad ustálenou hladinou podzemní vody je minimálně 1,0 m při vytažení naplněného vrtného nástroje. [3] Při betonáži piloty se suspenze odčerpává a může být po úpravě použita k pažení následujícího vrtu.

Předepsaný průměr vrtu je roven vnějšímu průměru pažnice, v případě jejich použití, nebo průměru vrtného nástroje, v případě použití jílové suspenze a u nepažených vrtů. Hloubení vrtu by mělo probíhat plynule, bez zbytečných přerušení, a vrt by měl být zabetonován v co možná nejkratší době.

Výztuž pilot

Piloty lze provádět jako nevyztužené, tj. z prostého betonu, pokud jsou namáhány pouze tlakem a nenacházejí se v nestabilních zeminách. V ostatních případech se provádějí jako železobetonové, přičemž pro vyztužení se používá betonářská ocel obvykle ve formě armokoše. Navíc se piloty opatřují kotevní výztuží zajišťující napojení na základové patky nebo pásy.

Armokoš se skládá z podélné, příčné a pomocné výztuže, přičemž musí být splněn požadavek na minimální plochu podélné výztuže dle tabulky 2.1.2. Výztuž musí vyčnívat nad hlavu piloty na předepsanou kotevní délku. Dále musí být armokoš navržen tak, aby středem mohla projít betonážní roura a měl by být dostatečně tuhý, aby vydržel namáhání při přepravě a manipulaci.

Tab. 2.1.2 Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot [1]

Jmenovitá průřezová plocha dříku piloty A_c	Plocha podélné výztuže A_s
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,5 \% A_c$
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,25 \% A_c$

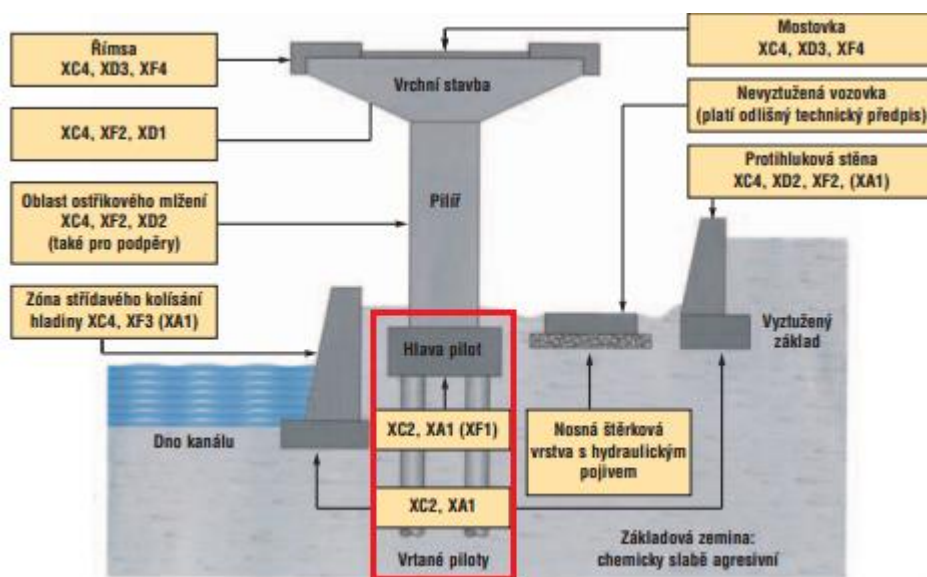
Tab. 2.1.3 Doporučený průměr příčné výztuže [1]

Pravoúhlé a kruhové třmínky a spirála	$\geq 6 \text{ mm}$ a $\geq \frac{1}{4}$ největšího průměru podélné výztuže
Výztužné sítě použité jako příčná výztuž	$\geq 5 \text{ mm}$

U pilot pažených spojovatelnými pažnicemi se krytí zvětšuje, obvykle o tloušťku stěny pažnice, jež bývá 40 mm.

V případě rotačně vrtaných pilot je potřeba před osazením armokoše vyčistit dno vrtu, zejména dostala-li se do vrtu voda nebo pokud se vrtalo spirálovým vrtákem. Vyčištění dna se provádí šapou s rovným dnem. Všude tam, kde se čerpáním neporuší stabilita stěn vrtu, se navíc pomocí ponorných čerpadel odčerpá podzemní voda. Při pažení jílovou suspenzí se nejdříve 1 hodinu před betonáží odstraní filtrační koláč ze dna vrtu a případně i ze stěn [3].

Beton pro betonáž vrtaných pilot musí mít především správnou zpracovatelnost pro jeho ukládání a vytahování pažnic, dále vysokou odolnost proti rozměšování, vysokou plasticitu, schopnost samozhutnění a správnou konzistenci. Požadavky na beton určuje norma *ČSN EN 206: Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* platná od 1. 6. 2014, která nahradila předchozí *ČSN EN 206-1*. Podle této normy je minimální třída betonu pro piloty stanovena na C25/30 (viz obr. 2.1.2, 2.1.3). Složení betonu je dáno tabulkou 2.1.4, požadované vlastnosti z hlediska zpracovatelnosti jsou uvedeny v tabulce 2.1.5. Vrtané piloty se betonují buď způsobem betonáže do sucha, nebo způsobem betonáže pod vodu (nebo pod jílovou suspenzi). Do sucha se smí betonovat pouze tehdy, je-li vrt před betonáží zcela suchý.



Obr. 2.1.2 Stupeň vlivu prostředí pro vrtané piloty [9]

XA	Chemicky agresivní prostředí				
XA1	slabě agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,55	C25/30	300	C25/30
XA2	středně agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,50	C25/30 ^{c)}	320	C30/37
XA3	vysoce agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,45	C30/37 ^{c)}	360	C35/45

Obr. 2.1.3 Minimální třída betonu pro st. vlivu prostředí XA1 [9]

Tab. 2.1.4 Složení čerstvého betonu pro betonáž pilot [1]

Obsah cementu:	
- betonáž do sucha	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
- betonáž pod vodu nebo suspenzi	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Vodní součinitel v/c	$< 0,60$
Podíl jemné frakce $d_c < 0,125 \text{ mm}$ (včetně cementu)	
Je-li:	
- největší zrno kameniva $d_c > 8 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
- největší zrno kameniva $d_c \leq 8 \text{ mm}$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Tab. 2.1.5 Stupeň rozlití a sednutí čerstvého betonu pro betonáž pilot [1]

Stupeň rozlití \varnothing [mm]	Stupeň sednutí kužele (podle Abramse) H [mm]	Typické podmínky použití
$\varnothing = 500 \pm 30$	$H = 150 \pm 30$	Betonáž do sucha
$\varnothing = 560 \pm 30$	$H = 180 \pm 30$	Betonáž čerpadlem nebo sypákovou rourou pod vodu
$\varnothing = 600 \pm 30$	$H = 200 \pm 30$	Betonáž sypákovou rourou pod pažící suspenzi

Po betonáži následují dokončovací práce, během nichž se upravují hlavy pilot ohleduplným odbouráním. Poškozený beton v hlavě musí být odstraněn až na úroveň zcela zdravého betonu, případně nahrazen čerstvým betonem, který se dokonale spojí s betonem stávajícím. V této fázi se hlavy pilot z prostého betonu opatřují spojovací výztuží, tvořenou svislými pruty osazenými do čerstvého betonu.

Piloty vrtané průběžným šnekem CFA

Ve vhodných zeminách může použití průběžného šneku nahradit pažení a několikanásobně zvýšit produktivitu práce. Stabilita stěn vrtu je zde zajištěna zeminou uchycenou v závitech šneku, jehož délka je přinejmenším rovna celkové délce piloty.

Piloty CFA se provádějí vesměs svislé. Vrtá se při minimálních otáčkách šneku, aby se omezily negativní účinky vrtání na okolní zeminu. Šnek je opatřen středovou rourou, do níž je přivedena hadice betonážního čerpadla. Při betonáži se průběžný šnek vytahuje, nesmí se přitom však otáčet, případně se může otáčet ve stejném směru jako při vrtání. Okamžitě po vybetonování se odstraní nakupená zemina po vrtání a pilota se opatří armokošem [2].

2.2 Mikropiloty

Tato speciální metoda hlubinného zakládání byla vyvinuta především pro zakládání objektů ve ztížených podmínkách, typicky ve stísněných poměrech. Vrty pro mikropiloty se provádějí hydraulickými vrtnými soupravami pro maloprofilové vrtání, jež jsou málo rozměrné a mohou operovat i např. ve sklepních prostorech. Navíc mohou být vrty provedeny v jakémkoliv sklonu. Dále se mikropiloty používají pro podchycení stávajících objektů, při rekonstrukcích nebo při zajištění ražeb podzemních děl pomocí mikropilotového deštníku.

V podstatě jde o štíhlé vrtané piloty s průměrem dříku menším 300 mm, které jsou upnuty do základové půdy injektáží kořene. Vzhledem k jejich štíhlosti jsou určeny zejména pro přenášení osových sil, ale není vyloučeno ani jejich příčné zatížení, potom se však navrhují ve skupinách. Mohou být vyztuženy armokošem nebo častěji trubní výztuží, kdy je vyztužení zajištěno spojovanými ocelovými trubkami. Ty jsou v kořenové části mikropiloty opatřeny injektážními otvory překrytými gumovými manžetami a spodní trubka je navíc zakončena zátkou. Typicky používané průměry trubní výztuže jsou $\varnothing 70/12$ mm, $\varnothing 89/10$ mm a $\varnothing 108/16$ mm délek 3000 a 1500 mm [1].

Mikropilota se skládá z *hlavy*, tvořené u trubních mikropilot ocelovou deskou, kterou je zajištěno spojení s nadzákladovou konstrukcí, dále z *dříku*, což je neinjektovaná část mikropiloty přenášející osová zatížení z hlavy do kořene, a konečně ze zainjektovaného *kořene*, který přenáší zatížení do základové půdy.

Technologický postup výroby mikropiloty je následující: provede se maloprofilový vrt, který může být pažený pomocí ocelových pažnic nebo jílovou suspenzí nebo nepažený. Bezprostředně po dokončení vrtu a jeho vyčištění je vrt vyplněn cementovou zálivkou, což je směs cementu a vody v poměru $c:v = 2,5:1$ [1]. Poté je do vrtu osazena výztuž a následuje injektáž kořene, na čemž nejvíce závisí únosnost mikropiloty.

Injektáž se provádí tak, že se do manžetové trubky tlakově čerpá injektážní směs, která roztrhne a do stran roztlačí zatuhlou zálivku skrze otvory ve spodní trubce. Takto se kořen injektuje zpravidla několikrát, vzestupně, v tzv. etážích pomocí obturátoru, což je zařízení zajišťující proinjektování pouze dané části kořene.

Konec teoretické části práce

Teoretická část práce si kladla za cíl uvést problematiku pilot před praktickou aplikací, která je hlavní částí této bakalářské práce. Uveden zde byl stručný úvod do hlubinných základů se zaměřením na piloty a jejich rozdělení. O něco více byly rozvinuty vrtané piloty z hlediska jejich provádění, jelikož budou použity v praktické části práce a navíc mají v ČR největší zastoupení. Dále tedy bude následovat aplikování získaných poznatků na reálné konstrukci při návrhu a výpočtu pilotového základu.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bakalářské práce zahrnuje posouzení geologie a návrh hlubinných základů vybrané stavby. Bude zde představen objekt a jeho umístění, dále popsány geologické a geotechnické poměry, následuje vlastní výpočet základů – nejprve s pomocí tabulkového procesoru Excel, a poté, pro srovnání, s využitím specializovaného software GEO5 – modul Pilota a Plaxis 2D.

3.1 Popis objektu a lokality

Bakalářská práce se zabývá novostavbou domova seniorů v Plzni, nacházející se na ulici Zahradní v městské části Slovany, na parcele č. 1657/5. Na této parcele byla v minulosti umístěna čistička odpadních vod. Ta byla později odstraněna a jáma zasypána zeminou. V současnosti se zde nacházejí volejbalové kurty, místo nichž má být postaven domov seniorů. Stavba je navržena jako čtyřpatrová zděná konstrukce o půdorysných rozměrech cca 24 x 39 m.



Obr. 3.1.1 Mapa znázorňující zájmové území

Staveniště se nachází v těsné blízkosti řeky Radbuzy. Terén je zde převážně rovinný, na okraji parcely mírně svažité směrem k řece. Okolí místa je zastavěno převážně průmyslovými halovými objekty. Přístup na staveniště je zajištěn po asfaltové vozovce ulice Zahradní, která je dostatečně široká pro průjezd stavebních strojů (obr. 3.1.2).

Vzhledem k stavebním úpravám v minulosti se v místě stavby nachází poměrně mocná vrstva navážek a dále hlíny a písky měkké konzistence, hladina podzemní vody zde byla zjištěna již v hloubce 2,5 m. Inženýrsko - geologický průzkum (dále IG průzkum) byl prováděn v suchém období a předpokládá se, že HPV bude v průběhu roku kolísat v závislosti na srážkách [4]. Z těchto důvodů budou pro založení nového objektu použity hlubinné základy.



Obr. 3.1.2 Družicový snímek se zakreslením staveniště

3.1 Geomorfologie

Podle geomorfologického členění ČR (ČÚZK, 1996) se daná lokalita nachází v Hercynském systému, subsystému Hercynské pohoří, provincii Česká vysočina – I, v Poberounské subprovincii – I₅, oblasti Plzeňská pahorkatina – I₅B, celku Plaská pahorkatina – I₅B-2, podcelku Plzeňská kotlina, okrsku Touškovská kotlina.

Tab. 3.1.1 Geomorfologické zatřídění lokality

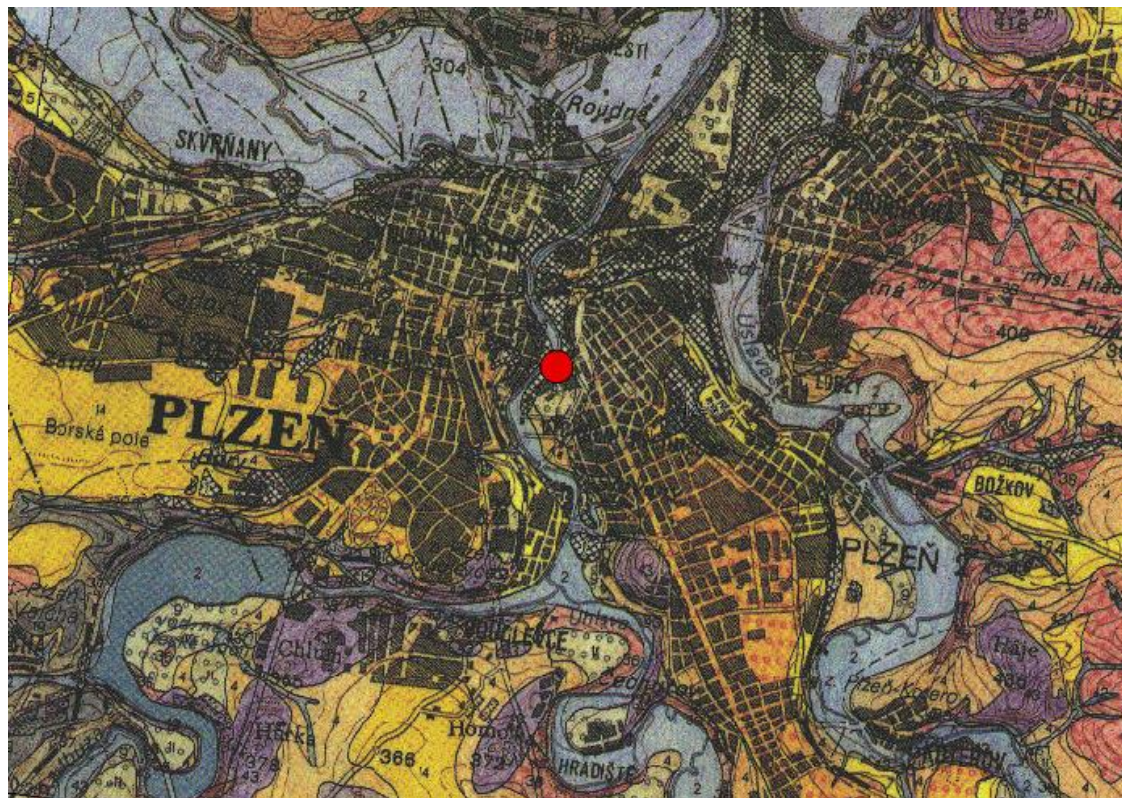
	IsB-2
systém	Hercynský
subsystém	Hercynské pohoří
provincie	Česká vysočina
subprovincie	Poberounská
oblast	Plzeňská pahorkatina
celek	Plaská pahorkatina
podcelek	Plzeňská kotlina
okrsek	Touškovská kotlina

3.2 Geologické a hydrogeologické poměry

Plzeňsko je součástí geologické jednotky Český masiv. Krystalinikum okolí Plzně spadá do kralupsko – zbraslavské skupiny proterozoika Barrandienu. Na podloží tvořeném drobami, slepenci a břidlicemi jsou uloženy horniny svrchního karbonu, zejména slepence a jílovce. Následuje vrstva neogenních sedimentů - štěrků a jílovitých písků. Kvartérní pokryv je tvořen různými typy hlín a fluvialními sedimenty podél toků řek. V oblasti Plzně je také častý výskyt navážek (obr. 3.2.1).

V místě staveniště byl na základě objednávky firmy KRPA INVESTMENT, a.s. proveden inženýrsko – geologický průzkum firmou Balun, s.r.o. Provedeny byly tři průzkumné vrtané sondy ukončené v poloskalním podloží (viz příloha č. 1). Na základě těchto vrtů, spolu s údaji z archivních sond z let 1966, 1970 a 2009, byly stanoveny geotechnické parametry hornin a zjištěna hladina podzemní vody a její agresivita.

Z provedených vrtů IG průzkumu bylo zjištěno poloskalní podloží v hloubce 6 – 7 m. Jedná se o navětralé a téměř zdravé břidlice třídy R4, resp. R3 podle klasifikace ČSN 73 1001. Následuje vrstva zvodnělých štěrkovitých zemin tříd G2-GP až G3-GF podle ČSN 73 1001, csaGr podle ČSN EN ISO 14688, dále písky s příměsí jílu měkké konzistence třídy S5-SC, resp. clSa až grclSa. Svrchní vrstvy tvoří jemnozrnnější hlinitopísčité zeminy třídy F3-MS, resp. saSi a zejména pak zhruba 2 m mocné navážky.



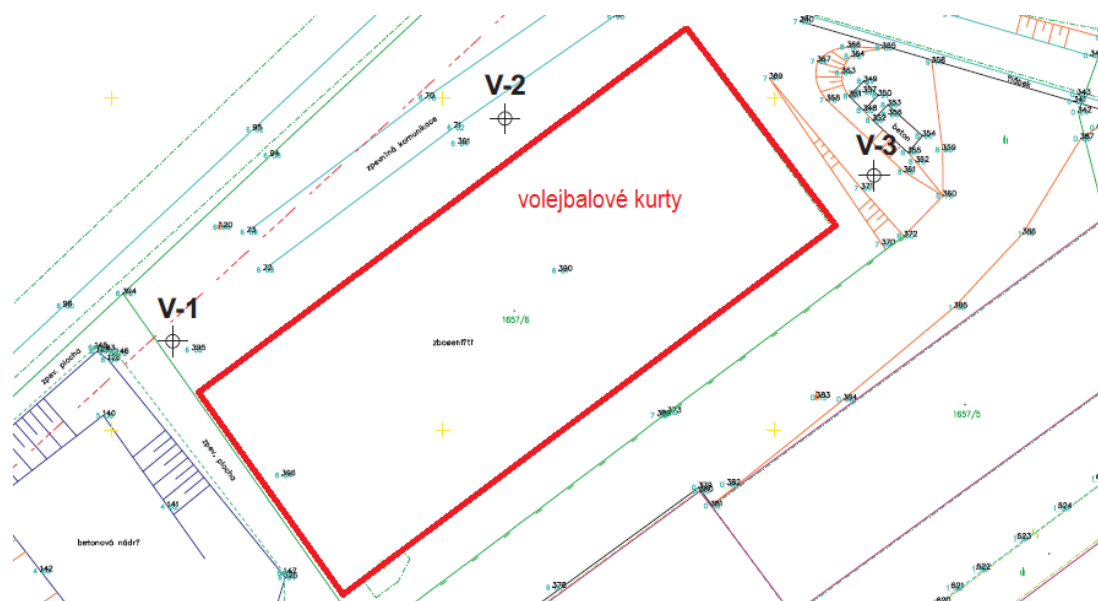
Obr. 3.2.1 Výřez z geologické mapy 1:50 000 v měř. 1:25 000, č. map. listu 12-33

Legenda: 2 – deluviofluviální a fluviální písčitohlinité, jílovitopísčité a jílovitokamenité sedimenty, 4 – deluviální hlinitokamenité a hlinitopísčité sedimenty, 9 – fluviální písčité štěrky, 13 – fluviální jílovitopísčité štěrky, 14 – fluviální štěrkovité písky s polohami jílu, 36 – břidlice, střídání břidlic a drob, převaha břidlic, 43 – metabazalt, metatuf

Hladina podzemní vody byla zjištěna již v hloubce 2,5 – 4,1 m pod původním terénem, což je pochopitelné vzhledem k umístění stavby v blízkosti řeky. Dá se očekávat, že v době srážek bude hladina ještě vyšší. Na základě laboratorních rozborů bylo zjištěno, že z hlediska chemického působení na beton podle ČSN EN 206-1 vykazuje voda neagresivní prostředí [4].

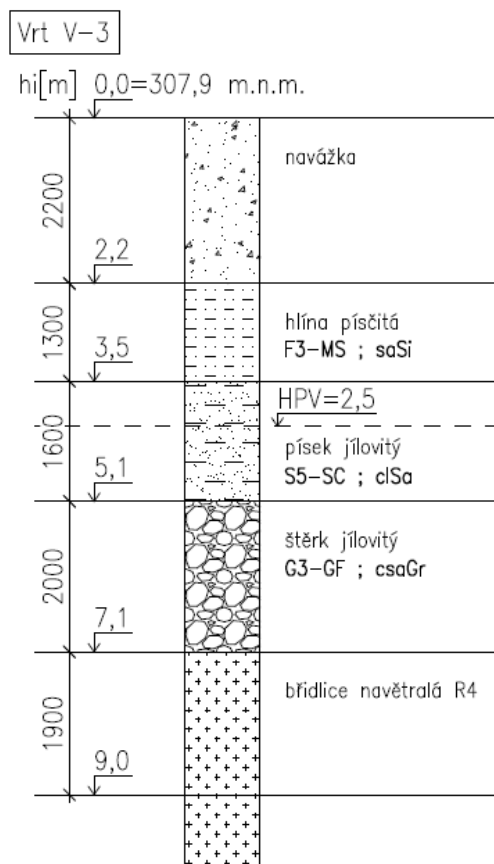
3.3 Geotechnické parametry

Vrty provedené v rámci IG průzkumu nemohly být provedeny přesně v místě základů budoucího objektu, protože nebylo získáno povolení k provedení vrtných prací na volejbalových kurtech, které se zde v současnosti nachází. Byly proto umístěny v těsné blízkosti po obvodu kurtů (viz obr. 3.3.1).



Obr. 3.3.1 Umístění vrtaných sond V-1 až V-3

Pro statický výpočet byl zvolen nejméně výhodný geologický profil ze sondy V-3, jelikož se zde poloskalní podloží nachází v největší hloubce a bylo uvažováno v nejhorší kvalitě – R4 (obr. 3.3.2).



Obr. 3.3.2 Zvolený geologický profil - sonda V-3

Na základě laboratorního rozboru odebraných vzorků zeminy byly IG průzkumem doporučeny geotechnické parametry jednotlivých vrstev podloží. Pro účely výpočtu 1. MS byly pro skalní břidlicové podloží dodatečně z literatury vyhledány hodnoty koheze a úhlu vnitřního tření v závislosti na pevnosti v tlaku σ_c [5].

Vzhledem ke kolísající hladině podzemní vody a měkké konzistenci hlín a písků v základové půdě budou tyto vrstvy při výpočtu považovány za neúnosné a bude uvažováno pouze s únosností posledních dvou vrstev (štěrk a břidlice).

Tab. 3.3.1 Geotechnické parametry základové půdy

Petrogrografický popis	Hlína písčitá	Písek jílovitý	Štěrk jílovitý	Břidlice navětralá
Zatřídění dle: - ČSN 73 1001 - ČSN EN ISO 14688	F3-MS saSi	S5-SC clSa	G3-GF csaGr	R4
Konzistence/ulehlost	tuhá	měkká až tuhá	středně ulehlý	-
Objemová tíha γ [kNm ⁻³]	18,0	18,5	19,0	22,5
Objemová tíha pod vodou γ_{sat} [kNm ⁻³]	11,0	11,0	12,0	22,5
Úhel vnitřního tření ϕ [°] - Totální - Efektivní	6 26	- 26	- 33	- 28*
Koheze c [kPa] - Totální - Efektivní	60 12	- 6	- 0	- 100*
Modul deformace E_{def} [MPa]	7	6	85	600
Pevnost v prostém tlaku σ_c [MPa]	-	-	-	9,0

*Hodnoty zjištěny dodatečně [5]

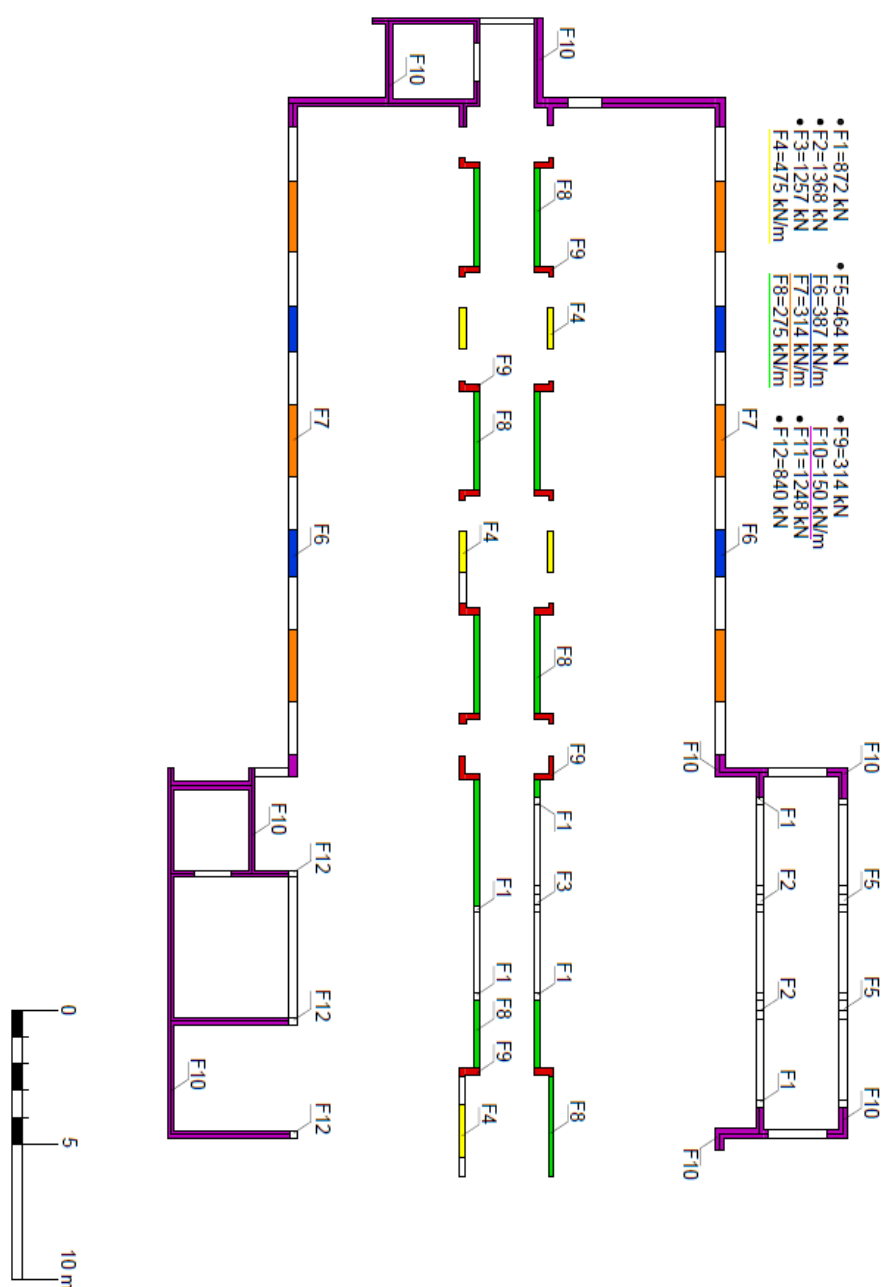
3.4 Zvolený typ základů

Pro založení objektu byly zvoleny velkopřůměrové vrtané piloty zavrtané do poloskalního podloží, jelikož tato technologie umožňuje snáze reagovat na měnící se délky pilot v rámci staveniště. Navíc by zde ražené piloty nebyly vhodné kvůli otřesům, protože se stavba nachází ve středu města. Piloty budou paženy pomocí spojovatelných ocelových pažnic, které budou s postupem betonáže vytahovány.

Vzhledem k požadavkům na zpracovatelnost betonu (viz tab. 2.1.5) podle normy *ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* budou piloty zhotoveny z betonu třídy C30/37.

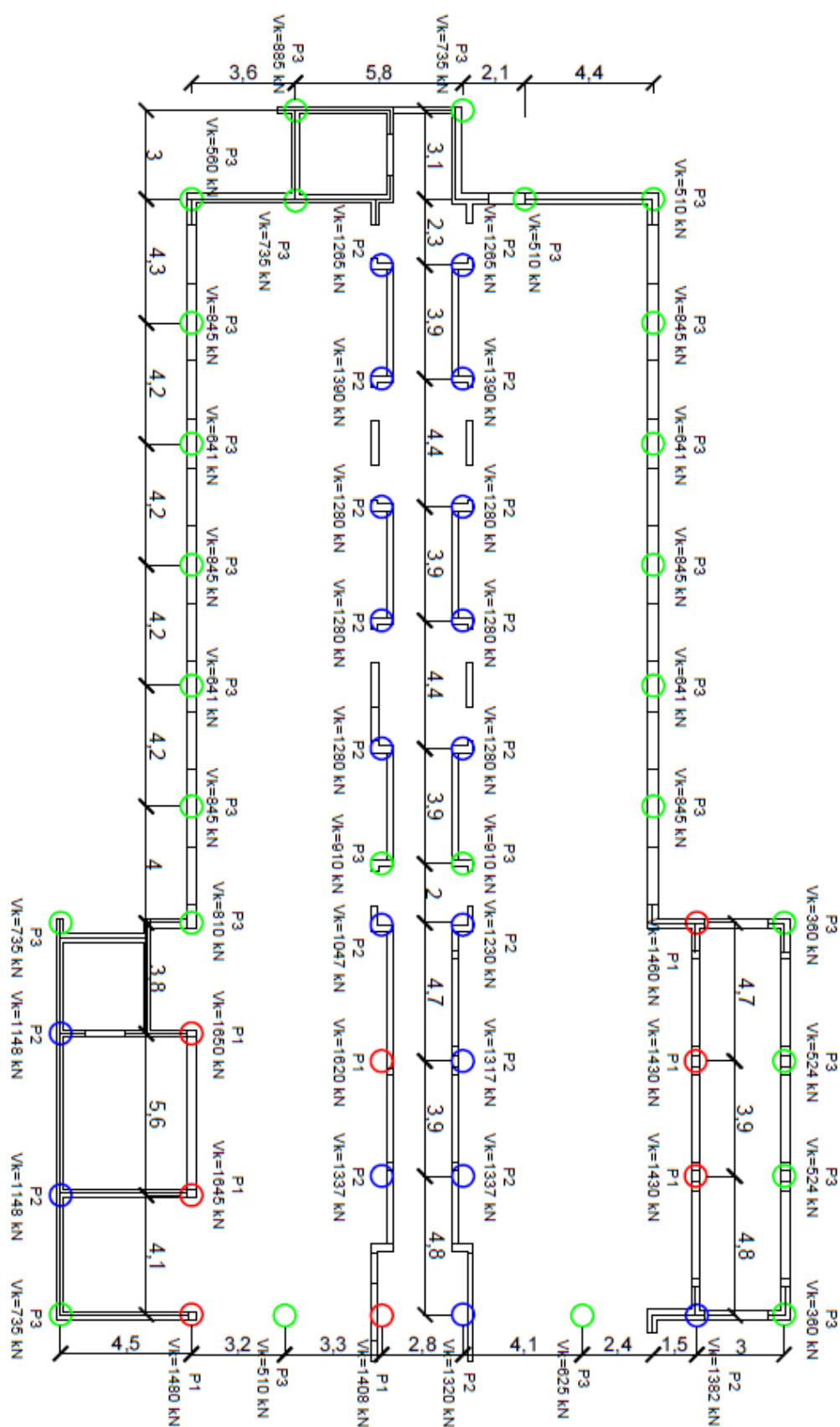
Svrchní stavba bude provedena jako zděná a bude uvažována jako tuhá konstrukce, která vyvoluje převážně svislé tlakové účinky.

Zatížení ze svrchní stavby bylo dodáno formou schematu zatížení na základě statického výpočtu stavby [10]. Jedná se o charakteristické hodnoty zatížení (obr. 3.4.1).



Obr. 3.4.1 Schéma zatížení ze svrchní stavby

Obr. 3.4.2 Schéma rozmístění pilot - hodnoty zatížení pro 1. MS



Obr. 3.4.3 Schéma rozmístění pilot - hodnoty zatížení pro 2. MS

Charakteristické zatížení se pohybuje od 360 kN na okrajích budovy až po 1650 kN v nejvíce exponovaných místech, což je poměrně velký rozptyl. Z toho důvodu byly s ohledem na ekonomičnost navrženy piloty v celkem 3 provedeních, P1 až P3, vzájemně se lišících svou délkou (na obr. 3.4.2 a 3.4.3 odlišeny barevně). Průměr dříku 0,75 m je ponechán stejný pro všechny piloty kvůli jednoduchosti provádění.

Kvůli citlivosti konstrukce na nerovnoměrné sedání byly piloty dimenzovány tak, aby se hodnota sednutí pohybovala kolem 8 mm. 1. MS byl u všech pilot splněn se značnou rezervou a nebyl tedy pro návrh rozhodující.

Přehled délek navržených pilot a rozsah přenášených zatížení je uveden v tab. 3.4.1.

Tab. 3.4.1 Přehled navržených pilot

Pilota	Ø dříku [m]	Celková délka piloty [m]	Délka kořene piloty vetknutá v břídlíci [m]	Přenášené zatížení	
				Char. hodnoty	Návrh. hodnoty
P1	$d_1 = 0,75$	$L = 9,2$	$L_k = 4,3$	$F_k \leq 1650 \text{ kN}$	$F_d \leq 2227,5 \text{ kN}$
P2	$d_2 = 0,75$	$L = 8,2$	$L_k = 3,3$	$F_k < 1390 \text{ kN}$	$F_d < 1876,5 \text{ kN}$
P3	$d_3 = 0,75$	$L = 6,9$	$L_k = 2,0$	$F_k < 910 \text{ kN}$	$F_d < 1228,5 \text{ kN}$

3.5 Výpočet

3.5.1 Metodika výpočtu a dosazení

Jedná se o běžný pilotový základ 2. geotechnické kategorie, pro který norma ČSN EN 1997-1 doporučuje návrhový přístup 2, z něhož plynou hodnoty dílčích součinitelů spolehlivosti: „A1“, „M1“, „R2“. Při návrhovém přístupu 2 se redukuje únosnost, geotechnické parametry zůstávají bez redukce. Hodnoty redukčních součinitelů jsou uvedeny v tabulkách 3.5.1 a 3.5.2.

Tab. 3.5.1 Dílčí součinitele pro pilotové základy - návrhový přístup 2 [7]

NP2	A	A	M	M	R
	γ_G	γ_Q	$\gamma_{c'}$, $\gamma_{\phi'}$	γ_{cu} , γ_{ϕ_u}	γ_R
A1+M1+R2	1,35/1,0	1,5/0,0	1,0	1,0	R2 – tab.

Tab. 3.5.2 Dílčí součinitele únosnosti pro vrtané piloty [7]

Odpor	Značka	Soubor			
		R1	R2	R3	R4
Pata	γ_b	1,25	1,1	1,0	1,6
Plášť (tlak)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Celkový/kombinovaný (tlak)	γ_t	1,15	1,1	1,0	1,5
Plášť (tah)	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Výpočet pro 1. mezní stav

Výpočet je proveden postupem podle Masopusta [1].

Výchozím vztahem pro únosnost piloty je následující vztah:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} > V_d \quad (3.5.1)$$

kde U_{vd} je výsledná svislá návrhová únosnost piloty,

U_{bd} návrhová únosnost paty piloty,

U_{fd} návrhová únosnost na plášti,

V_d návrhová hodnota svislé složky působícího zatížení v hlavě piloty.

- **Návrhová únosnost paty piloty se určí vztahem:**

$$U_{bd} = k_l \cdot A_s \cdot R_d \quad (3.5.2)$$

kde k_l je souč. zvětšení únosnosti vlivem délky piloty L ($k_l = 1,15$ pro $L > 6,0$ m),

A_s je plocha paty piloty,

R_d je návrhová únosnost paty v dané zemině stanovená podle vztahu:

$$R_d = 1,2 \cdot c_d \cdot N_c + (1 + \sin \varphi_d) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_d + 0,7 \cdot \gamma_2 \cdot d / 2 \cdot N_b \quad (3.5.3)$$

kde $N_d = \exp(\pi \cdot \tan \varphi_d) \cdot \tan^2(45 + \varphi_d / 2)$

$N_b = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \tan \varphi_d$

$N_c = (N_d - 1) \cdot \cotg \varphi_d$...pro $\varphi_d > 0$

- **Návrhová únosnost na plášti se vypočítá jako:**

$$U_{fd} = \sum \pi \cdot d_i \cdot h_i \cdot f_{si} \quad (3.5.4)$$

kde f_{si} je tření na plášti:

$$f_{si,d} = \sigma_{xi} \cdot \tan(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} \quad (3.5.5)$$

kde γ_{r2} je součinitel podmínek působení, vyjadřující vliv technologie provádění pilot
($\gamma_{r2} = 1,2$ pro betonáž do vrtu zapaženého ocelovou pažnicí a pod vodu),

γ_{r1} je součinitel podmínek působení základové půdy

($\gamma_{r1} = 1,0$ pro hloubku $z > 3,0$ m),

σ_{xi} je kontaktní napětí v i -té vrstvě:

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori} \quad (3.5.6)$$

kde k_2 je součinitel bočního zemního tlaku na plášť piloty ($k_2 = 1,0$ pro $z \leq 10,0$ m),

σ_{ori} je geostatické napětí v polovině vrstvy podloží.

Dosažení pro pilotu P1:

zemina	od-do [m]	mocnost [m]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
Hlína písčitá (neúnosná)	0,0 – 1,3	1,3	11,0	26	12
Písek jílovitý (neúnosná)	1,3 – 2,9	1,6	11,0	26	6
Štěrka jílovitý	2,9 – 4,9	2,0	12,0	33	0
Břidlice navětralá	4,9 – 9,2	4,3	22,5	28	100

Únosnost paty:

$$N_d = \exp(\pi \cdot \tan 28^\circ) \cdot \tan^2(45^\circ + 28^\circ/2) = 14,72$$

$$N_b = 1,5 \cdot (14,72 - 1) \cdot \tan 28^\circ = 10,942$$

$$N_c = (14,72 - 1) \cdot \cot 28^\circ = 25,803$$

$$\gamma_1 = \Sigma(\gamma_i \cdot h_i) / L = (11,0 \cdot 1,3 + 11,0 \cdot 1,6 + 12,0 \cdot 2,0 + 22,5 \cdot 4,3) / 9,2 = 16,59 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_2 = 22,5 \text{ kNm}^3$$

$$R_d = 1,2 \cdot 100 \cdot 25,803 + (1 + \sin 28^\circ) \cdot 16,59 \cdot 9,2 \cdot 14,72 + 0,7 \cdot 22,5 \cdot (0,750/2) \cdot 10,942 = 6462,92 \text{ kPa}$$

$$U_{bd} = (k_1 \cdot A_s \cdot R_d) / \gamma_b = (1,15 \cdot [(\pi \cdot 0,750^2)/4] \cdot 6462,92) / 1,1 = 2985,01 \text{ kN}$$

Únosnost na plášti:

$$\sigma_{or,3} = \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3 \cdot 0,5 = 11 \cdot 1,3 + 11 \cdot 1,6 + 12 \cdot 2 \cdot 0,5 = 43,9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{or,4} = \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3 + \gamma_4 \cdot h_4 \cdot 0,5 = 11 \cdot 1,3 + 11 \cdot 1,6 + 12 \cdot 2 + 22,5 \cdot 4,3 = 91,56 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x,3} = k_2 \cdot \sigma_{or,3} = 1,0 \cdot 43,9 = 43,9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x,4} = k_2 \cdot \sigma_{or,4} = 1,0 \cdot 91,56 = 91,56 \text{ kPa}$$

$$f_{s,3} = \sigma_{x,3} \cdot \tan(\phi_{d,3} / \gamma_{r1}) + c_{d,3} / \gamma_{r2} = 43,9 \cdot \tan(33^\circ / 1,2) + 0 / 1,0 = 22,85 \text{ kPa}$$

$$f_{s,4} = \sigma_{x,4} \cdot \tan(\phi_{d,4} / \gamma_{r1}) + c_{d,4} / \gamma_{r2} = 91,56 \cdot \tan(28^\circ / 1,2) + 100 / 1,0 = 139,50 \text{ kPa}$$

$$U_{fd} = (\Sigma \pi \cdot d_i \cdot h_i \cdot f_{si}) / \gamma_t = [\pi \cdot 0,750 \cdot (2,0 \cdot 22,85 + 4,3 \cdot 139,50)] / 1,1 = 1045,1 \text{ kN}$$

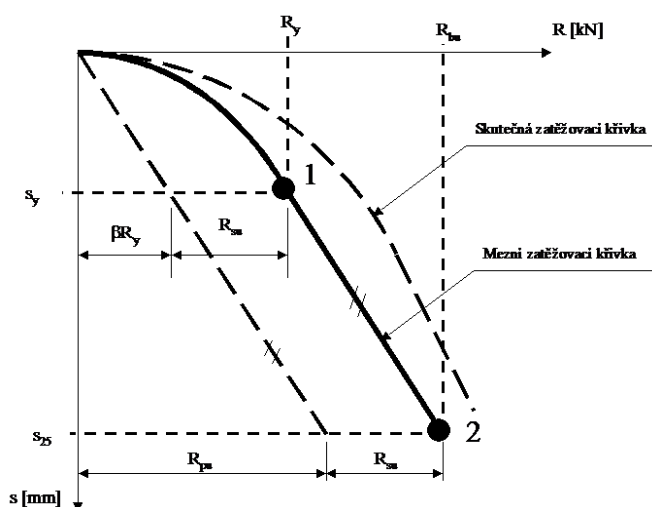
Celková únosnost piloty:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} = 2985,01 + 1045,1 = 4030,11 \text{ kN}$$

Posouzení: $U_{vd} = 4030,11 \text{ kN} > V_{Ed} = 2227,5 \text{ kN}$...vyhoví

Výpočet pro 2. mezní stav

Pro vrtané piloty ve vrstevnaté zemině zahloubené do poloskalní horniny je třeba stanovit jejich mezní zatěžovací křivku (obr. 3.5.1), z níž se určí výpočtová únosnost pro zvolené přípustné sedání. Mezní zatěžovací křivka popisuje závislost mezi zatížením piloty a jejím sedáním. Křivka má dvě části: parabolickou a lineární. Parabola (druhého stupně) vychází z počátku souřadného systému, tedy při nulovém zatížení, a končí při zatížení, kdy je plně mobilizováno plášťové tření. Odtud křivka pokračuje lineárně až do zatížení, které odpovídá sedání 25 mm.



Obr. 3.5.1 Mezní zatěžovací křivka piloty

Postup stanovení mezní zatěžovací křivky je následující:

1. Určení mezní únosnosti na plášti R_{su} . Vychází se z regresních křivek stanovených na základě statistické analýzy zatěžovacích zkoušek (Masopust).
2. Stanovení koeficientu přenosu zatížení do paty β a určení zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření R_y .
3. Stanovení odpovídajícího sedání s_y . Tím jsou určeny souřadnice vrcholu paraboly zatěžovací křivky [R_y ; s_y].
4. Určení zatížení v patě piloty R_{pu} pomocí součinitele β . Tím jsou dány souřadnice koncového bodu křivky [$s_{lim} = 25 \text{ mm}$; R_{pu}].
5. Stanovení výpočtové únosnosti piloty pro sedání 25 mm R_{bu} .

- **Mezní únosnost na plášti piloty se vypočítá:**

$$R_{su} = 0,7 \cdot m \cdot \pi \cdot \sum (d_i \cdot h_i \cdot q_{si}) \quad (3.5.7)$$

kde m je koeficient vyjadřující vliv povrchu dřívku piloty ($m = 1,0$ pro betonáž do suchého vrtu a pod vodu),

q_{si} je mezní plášťové tření v i -té vrstvě piloty dané vztahem:

$$q_{si} = a - b / (D_i / d_i) \quad (3.5.8)$$

kde a, b jsou regresní koeficienty stanovené podle tab. 3.5.3,

D_i je vzdálenost od hlavy piloty do poloviny i -té vrstvy,

d_i je průměr piloty v této vrstvě ($d_3 = d_4 = 0,75$ m).

Dále je nutné určit koeficient přenosu zatížení do paty piloty:

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) \quad (3.5.9)$$

kde q_s je průměrná velikost plášťového tření, stanovená jako vážený průměr:

$$q_s = \sum (d_i \cdot h_i \cdot q_{si}) / \sum (d_i \cdot h_i) \quad (3.5.10)$$

q_0 je napětí v patě při deformaci odpovídající plné mobilizaci plášťového tření:

$$q_0 = e - f / (L / d_0) \quad (3.5.11)$$

kde e, f jsou regresní koeficienty stanovené podle tab. 3.5.3.

Tab. 3.5.3 Regresní koeficienty pro jednotlivé typy zemin a hornin [1]

Zemina Hornina		Regresní koeficienty [kPa]			
		a	b	e	f
Poloskalní	R3	246,02	225,95	2841,31	1298,96
	R4	169,98	139,45	1616,22	1155,34
	R5	131,92	94,96	957,61	703,89
Hrubozrnné	I _D = 0,5	62,46	16,06	268,11	174,89
	I _D = 0,7	91,22	48,44	490,34	445,42
	I _D = 0,9	154,03	115,88	1596,70	1399,88
Jemnozrnné	I _C = 0,5	46,39	20,81	197,74	150,22
	I _C = 0,75	71,85	64,70	592,67	617,24
	I _C ≥ 1,0	97,31	108,59	987,60	1084,26

Nyní lze určit zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření:

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) \quad (3.5.12)$$

A odpovídající velikost sedání:

$$s_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) \quad (3.5.13)$$

kde E_s je průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dřívku piloty:

$$E_s = \Sigma(E_{si} \cdot h_i) / \Sigma h_i \quad (3.5.14)$$

kde E_{si} je sečnový modul deformace zeminy, stanovený podle tab. 3.5.4 až 3.5.6

I je příčinkový koeficient sedání piloty:

$$I = I_l \cdot R_k \quad (3.5.15)$$

kde I_l je základní příčinkový koeficient stanovený podle obr. 3.5.2,

R_k je součinitel vyjadřující tuhost a štíhlost piloty stanovený podle obr. 3.5.2.

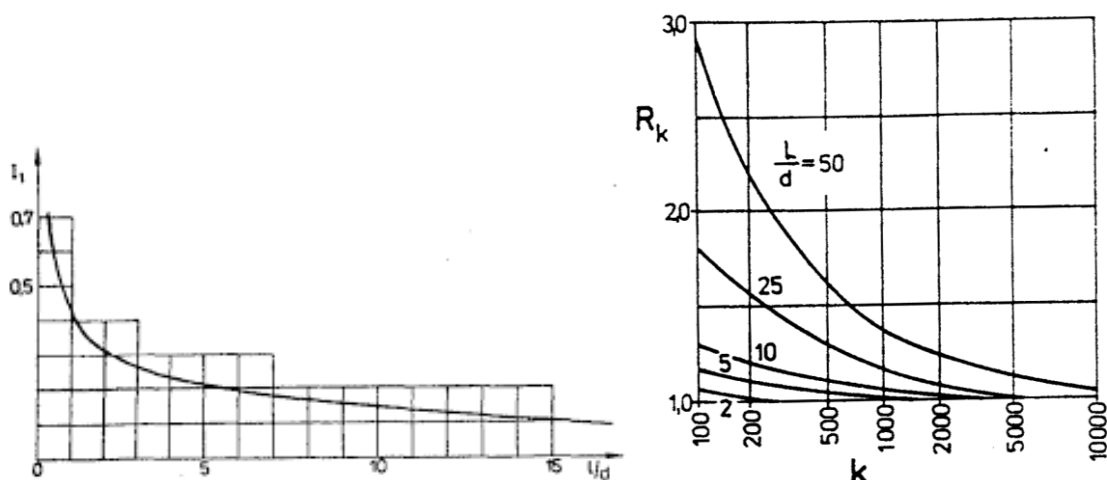
Koncový bod mezní zatěžovací křivky je dán souřadnicí $[s_{25} = 25 \text{ mm}; R_{bu}]$, přičemž:

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} \quad (3.5.16)$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot (s_{25} / s_y) \quad (3.5.17)$$

Sednutí od působícího zatížení R pro obor zatížení $0 \leq R \leq R_y$ je potom dáno vztahem:

$$s = s_y \cdot (R / R_y)^2 \quad (3.5.18)$$



Obr. 3.5.2 Příčinkový součinitel sedání I_l a korekční součinitel R_k

Tab. 3.5.4 Sečnové moduly deformace pro poloskalní horniny v MPa [1]

h [m]	d [m]								
	0,6			1,0			1,5		
	R3	R4	R5	R3	R4	R5	R3	R4	R5
1,5	50,3	28,2	20,2	72,3	35,0	24,7	85,5	33,5	22,3
3	64,5	43,1	30,8	105,5	57,3	41,0	138,3	58,8	41,2
5	-	58,2	41,3	-	75,3	54,8	-	87,9	63,7
10	-	87,5	61,6	-	114,5	83,2	-	133,0	97,0

Tab. 3.5.5 Sečnové moduly deformace pro hrubozrnné zeminy v MPa [1]

h [m]	d [m]								
	0,6			1,0			1,5		
	I _D								
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
1,5	11,0	13,7	28,3	12,8	15,8	30,6	13,0	15,3	29,0
3	15,5	20,2	44,5	18,4	25,0	47,8	19,4	24,5	52,5
5	18,8	26,6	56,1	22,8	32,5	69,1	24,5	36,0	78,2
10	23,8	36,6	72,1	29,8	47,8	93,4	32,6	54,0	107,3

Tab. 3.5.6 Sečnové moduly deformace pro jemnozrnné zeminy v MPa [1]

h [m]	d [m]								
	0,6			1,0			1,5		
	Ic								
	0,5	0,75	≥ 1,0	0,5	0,75	≥ 1,0	0,5	0,75	≥ 1,0
1,5	6,9	10,0	13,2	7,9	10,7	13,4	8,6	10,5	12,3
3	10,0	15,5	22,0	12,5	18,6	23,9	13,7	18,4	23,0
5	12,5	21,9	31,2	15,9	25,7	35,4	18,4	27,6	36,7
10	15,5	29,9	44,3	21,3	36,3	51,3	24,6	41,0	57,4

Dosazení pro pilotu P1:

zemina	od-do [m]	mocnost h_i [m]	D_i [m]	$E_{s,i}$ [MPa]
Hlína písčité (neúnosná)	0,0 – 1,3	1,3	0,65	6,9*
Písek jílovitý (neúnosná)	1,3 – 2,9	1,6	2,10	6,9*
Štěrka jílovitý	2,9 – 4,9	2,0	3,90	15,9*
Břidlice navětralá	4,9 – 9,2	4,3	7,05	58,9*

*získáno z tabulky 3.5.5, 3.5.6. lineární interpolací

$$E_s = (15,9 \cdot 2,0 + 58,9 \cdot 4,3) / (2,0 + 4,3) = 45,2 \text{ MPa}$$

$$K = 33000 / 45,2 = 729,29$$

$$L / d = 9,2 / 0,75 = 12,27$$

$$Z \text{ grafu: } R_k = 1,2; I_l = 0,13; I = 0,13 \cdot 1,2 = 0,156$$

Plášťové tření:

$$q_{s,3} = a - b / (D_3 / d_3) = 91,22 - [48,44 / (3,9 / 0,75)] = 81,90 \text{ kPa}$$

$$q_{s,4} = a - b / (D_4 / d_4) = 169,98 - [139,45 / (7,05 / 0,75)] = 155,14 \text{ kPa}$$

$$q_0 = e - f / (L / d_0) = 1616,22 - [1155,34 / (9,2 / 0,75)] = 1522,03 \text{ kPa}$$

$$q_s = \Sigma(d_i \cdot h_i \cdot q_{si}) / \Sigma(d_i \cdot h_i) = (0,75 \cdot 2,0 \cdot 81,90 + 0,75 \cdot 4,3 \cdot 155,14) / (0,75 \cdot 2,0 + 0,75 \cdot 4,3) = 131,89 \text{ kPa}$$

Mezní únosnost na plášti:

$$R_{su} = 0,7 \cdot m \cdot \pi \cdot \Sigma(d_i \cdot h_i \cdot q_{si}) = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot (0,75 \cdot 2,0 \cdot 81,90 + 0,75 \cdot 4,3 \cdot 155,14) \\ = 1370,49 \text{ kN}$$

Součinitel přenosu zatížení patou:

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) = 1522,03 / [1522,03 + 4 \cdot 131,89 \cdot (9,2 / 0,75)] = 0,1904$$

Zatížení na mezi mobilizace plášťového tření:

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) = 1370,49 / (1 - 0,1904) = 1692,81 \text{ kN}$$

$$\text{Odpovídající sednutí: } s_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) = 0,156 \cdot 1692,81 / (0,75 \cdot 45,2) = 7,8 \text{ mm}$$

Souřadnice konce parabolické části křivky tedy jsou:

$$[s_y ; R_y] = [7,8 \text{ mm} ; 1692,81 \text{ kN}]$$

Zatížení v patě při sednutí $s_{25} = 25$ mm:

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot (s_{25} / s_y) = 0,1904 \cdot 1692,81 \cdot (25 / 7,8) = 1035,54 \text{ kN}$$

Celkové zatížení při sednutí 25 mm:

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} = 1370,49 + 1035,54 = 2406,03 \text{ kN}$$

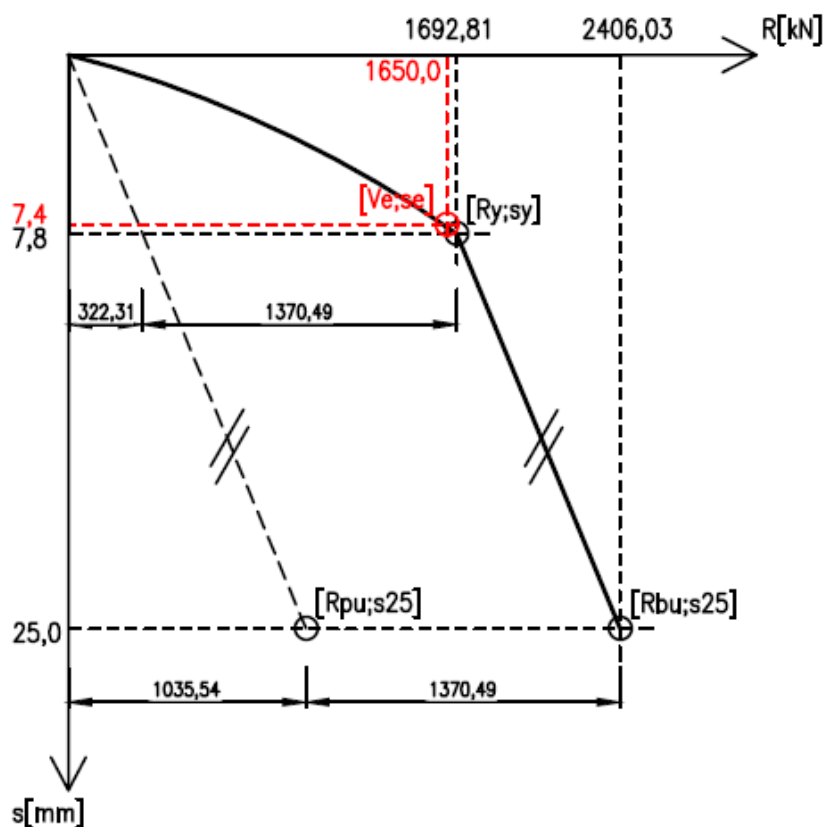
Souřadnice koncového bodu křivky jsou $[s_{25} ; R_{bu}] = [25 \text{ mm} ; 2406,03 \text{ kN}]$.

Zatížení při sednutí $s_{7,5} = 7,5$ mm:

$$R_{7,5} = R_y \cdot (s_{7,5} / s_y)^{1/2} = 1692,81 \cdot (7,5 / 7,8)^{1/2} = 1661,91 \text{ kN}$$

Sednutí odpovídající zatížení $V_E = 1650$ kN:

$$s_E = s_y \cdot (V_E / R_y)^2 = 7,8 \cdot (1650 / 1692,81)^2 = 7,4 \text{ mm}$$



Obr. 3.5.3 Mezní zatěžovací křivka piloty P1

Stejný postup výpočtu byl zautomatizován pomocí programu vytvořeného v tabulkovém procesoru Excel a zopakován pro pilotu P2 a P3. Výsledky jsou shrnuty v tab. 3.5.7 a 3.5.8. Podrobný výpočet v programu Excel viz příloha č. 3.

3.5.2 Porovnání výsledků Excel x GEO5

Tab. 3.5.7 Výsledky výpočtu Excel x GEO5 na základě 1. MS

1.MS	Použitý software	Únosnost paty U_{bd} [kN]	Únosnost pláště U_{fd} [kN]	Celková únosnost U_{vd} [kN]		Návrhové zatížení V_{Ed} [kN]	Posouzení
Pilota P1	Excel	2985,01	1045,10	4030,11	>	2227,5	Vyhoví
	GEO5	2595,66	1139,71	3735,37			
Pilota P2	Excel	2760,23	723,74	3483,97	>	1876,5	Vyhoví
	GEO5	2400,20	818,27	3218,47			
Pilota P3	Excel	2360,70	337,06	2697,76	>	1228,5	Vyhoví
	GEO5	2146,10	431,49	2577,58			

Tab. 3.5.8 Výsledky výpočtu Excel x GEO5 na základě 2. MS

2.MS	Použitý software	Zatíž. na mezi mob. pl. tření R_y [kN]	Sednutí od R_y s_y [mm]	Zatížení při sednutí 25 mm R_{bu} [kN]	Zatížení při sednutí 7,5 mm $R_{7,5}$ [kN]	Char. zatíž. V_{Ek} [kN]	Sednutí od zatíž. s_E [mm]
Pilota P1	Excel	1692,81	7,8	2406,03	1661,91	1650	7,4
	GEO5	1943,98	10,7	2567,96	1623,78		7,4
Pilota P2	Excel	1410,37	7,2	2157,38	1439,84	1390	7,0
	GEO5	1678,38	12,1	2172,44	1318,67		7,8
Pilota P3	Excel	1039,65	9,9	1448,96	906,04	910	7,6
	GEO5	1336,20	15,5	1616,96	928,36		7,1

Výpočet v programu GEO5 je založen na stejném postupu jako výpočet v tabulkovém procesoru Excel. V programu Excel byly zanedbány svrchní 2 vrstvy – hlínu a písek – coby neúnosné, kdežto výpočet v GEO5 proběhl s uvažováním všech vrstev. Tím je v 1. MS způsoben rozdíl zhruba 100 kN v únosnosti pláště. Dále byl pro 1. MS ve výpočtu programem GEO5 automaticky nastaven součinitel zvětšení únosnosti paty vlivem délky piloty na hodnotu $k = 1,0$, zatímco v programu Excel byla

použita hodnota $k_1 = 1,15$ (pro $L > 6,0$ m), resp. $k_1 = 1,1$ (pro $4 \text{ m} > L > 6 \text{ m}$), čímž jsou způsobeny rozdílné únosnosti paty piloty.

Rozdíly v 2. MS jsou zapříčiněny zaprvé zanedbáním svrchních 2 vrstev ve výpočtu programem Excel, v důsledku čehož došlo ke snížení plášťového tření, a zadruhé v rozdílných hodnotách součinitelů I_1 a R_k odečtených z grafu. Sednutí od působícího zatížení s_E se ve všech případech pohybuje v přijatelných mezích $7,5 \pm 0,5$ mm.

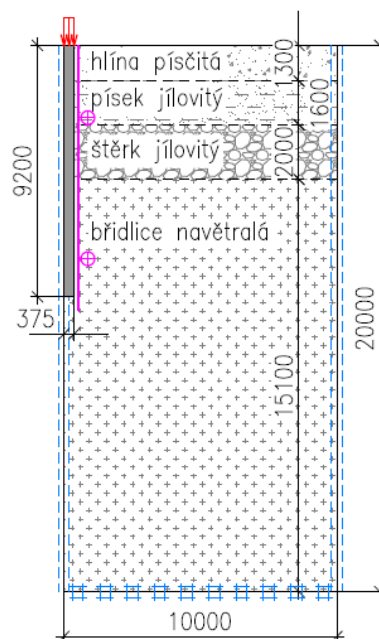
3.5.3 Výpočet sedání v Plaxis 2D

Nejdříve zde budou popsány vstupní parametry a postup výpočtu sedání piloty v programu Plaxis pomocí předepsaného přetvoření (*prescribed displacement*), jehož výstupem je mezní zatěžovací křivka piloty. Výpočet byl proveden pro různé hodnoty deformačního modulu břídlíce (vysvětleno dále v textu) a poté byly porovnány jednotlivé zatěžovací křivky spolu s křivkami získanými z programů Excel a GEO5.

Jedná se o osamělou pilotu kruhového průřezu, a proto byl s výhodou použit model typu *Axisymetry*. Při použití tohoto modelu je řešen pouze výsek 1 radiánu piloty symetrický podle osy, což má za následek snížení výpočtové náročnosti úlohy.

Geometrie

Pilota je kruhového průřezu průměru dříku $d = 0,75$ m a délky $L = 9,20$ m. Jelikož byl použit osově symetrický model, byla modelována pouze polovina piloty. Rozměry pracovní oblasti byly zvoleny 10×20 m. Protože je počítáno sedání, je důležité zejména zvolit dostatečnou hloubku modelu, aby jeho hranice neovlivnila výpočet. Proto byla hloubka zvolena přibližně $2 \times L$, což se ukázalo být dostatečné. V ose symetrie byla namodelována pilota pomocí nástroje *soil polygon* o délce $L = 9,2$ m a šířce $d/2 = 0,375$ m. Pro simulaci interakce mezi pilotou a zemínou bylo po délce piloty umístěno rozhraní *positive interface*, které bylo prodlouženo o $0,5$ m pod patu piloty z důvodu omezení oscilace napětí na patě. Byly použity standardní okrajové podmínky (*standard fixities*), tj. u svislých okrajů je bráněno posunu ve směru osy x , u vodorovných je zabráněno posunu v ose x i y (obr. 3.5.4).



Obr. 3.5.4 Geometrie modelu

Materiály

Ke stanovení materiálových vlastností byl použit Mohr – Coulombův konstituční model pro zeminy a lineárně elastický konstituční model pro pilotu. Pilota je zhotovena z betonu třídy C30/37 a je uvažována jako *non-porous*, tedy jako nepórovitý materiál.

Vstupní parametry jednotlivých vrstev podloží a materiálu piloty v programu Plaxis jsou shrnuty v tabulce 3.5.10.

Přetvárné charakteristiky jílové břidlice:

Podloží lokality tvoří podle IG průzkumu jílové břidlice zatříděné podle ČSN 73 1001 jako R4. Deformační modul těchto břidlic byl stanoven ze směrných normových charakteristik normy ČSN 73 1001 na 600 MPa. Rozptyl E_{def} pro třídu R4 uvádí tato norma od 40 do 3000 MPa. Ohodnotit správně přetvárné charakteristiky poloskalního prostředí není jednoduché. Např. při IG průzkumu podloží pro výstavbu sídliště Jižní svahy ve Zlíně (Babičová, 1973) byly provedeny polní smykové zkoušky, ze kterých byly vyhodnoceny smykové a přetvárné charakteristiky pelitických hornin v různém stupni zvodnění a navětrání [11]. Deformační moduly stanovené z těchto zkoušek ukazuje následující tabulka:

Tab. 3.5.9 Hodnoty zjištěných deformačních modulů jílovce [11]

	Obor zatíž.	[kPa]	0–25	0–50	0–75	0–100	0–200	0–300
Jílovec až jíl	Zavlhlý, silně navětralý	E_{def} [MPa]	11,9	15,3	14,9	12,6	9,4	9,5
	Obor zatíž.	[kPa]	0–50	0–100	0–200	0–300		
Jílovec	Silně navětralý, suchý, zatíž. povrchovým rozpadem	E_{def} [MPa]	10,2	13,1	8,2	9,1		
	Obor zatíž.	[kPa]	0–200	0–300	0–350	0–450	0–550	0–600
Jílovec	Navětralý, suchý, nezatíž. povrchovým rozpadem	E_{def} [MPa]	21,4	28,5	30,4	34,2	34,5	34,7

Jak je vidět z tabulky 3.5.9, hodnoty deformačních modulů se pohybují u spodní hranice směrných charakteristik normy ČSN 73 1001 nebo dokonce pod ní. K hodnotě $E_{\text{def}} = 600$ MPa doporučené IG průzkumem je tedy třeba přistupovat obezřetně. Výpočet v programu Plaxis proto bude proveden postupně pro různé hodnoty Youngova modulu: $E = 40 / 80 / 150 / 300 / 600 / 1000$ MPa.

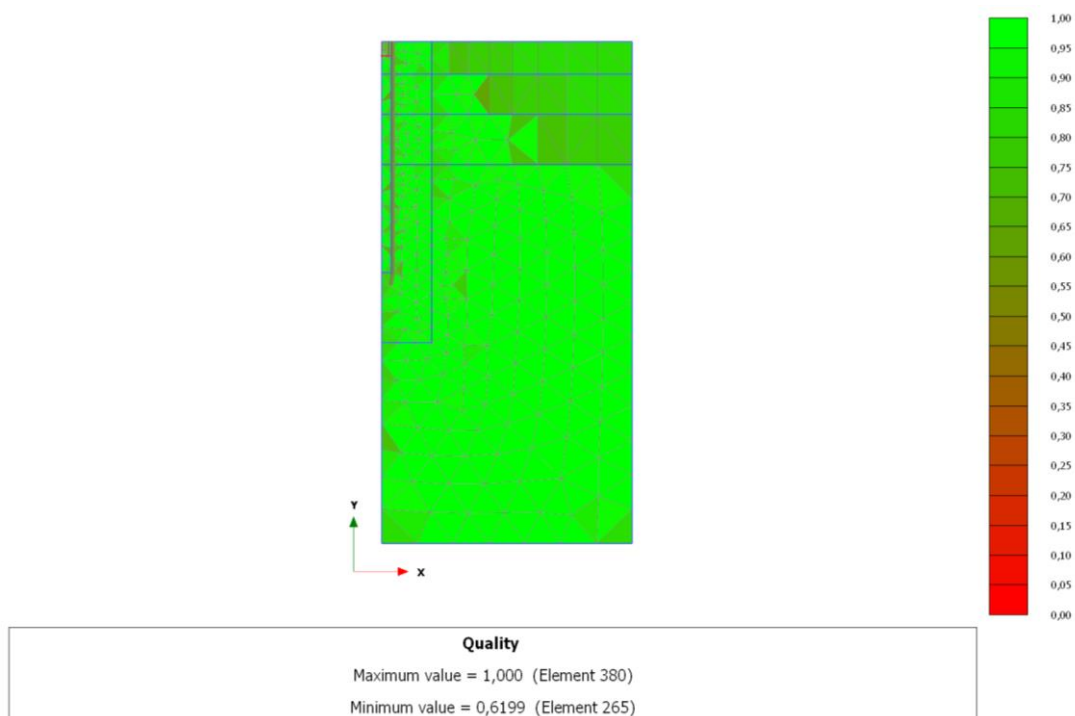
Tab. 3.5.10 Parametry použitých materiálů

Parametr	Hlína	Písek	Štěrka	Břidlice	Beton	Jedn.
Materiálový model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Linear elastic	-
Chování	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained	Non-porous	Non-porous	-
Obj. tíha γ_{unsat}	11,0	11,0	12,0	22,5	23	kN/m ³
Obj. tíha γ_{sat}	21,0	21,0	22,0	22,5	-	kN/m ³
Youngův modul E	7,0	6,0	85,0	Proměnný*	33 000	MPa
Poissonovo číslo ν	0,35	0,35	0,25	0,3	0,15	-
Koheze c	12	6	0,01	100	-	kPa
Úhel vn. tření ϕ	26	26	33	28	-	°
Úhel dilatance ψ	0	0	0	0	-	°
Interface:						
Typ pevn. rozhraní	Manual	Manual	Manual	Manual	Rigid	-
Pevn.rozhraní R_{inter}	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	-
Initial:						
Určení souč. K_0	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	-
Souč. boč. tlaku K_0	0,5616	0,5616	0,4554	0,5305	1,0	-

* $E = 40 / 80 / 150 / 300 / 600 / 1000$ MPa

Sít' konečných prvků

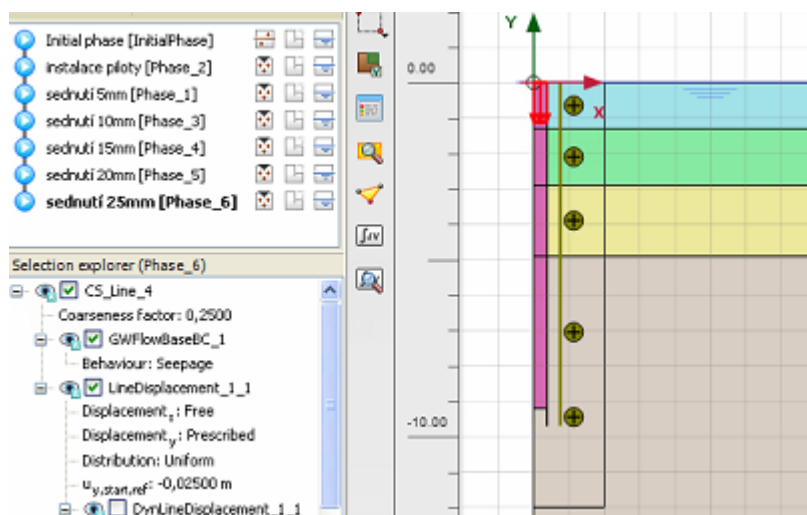
V clusterech kolem piloty byla sít' konečných prvků zjemněna nastavením hodnoty *coarseness factor* na 0,5. Kvalita vygenerované sítě je vidět na obrázku 3.5.5. Nejmenší hodnota kvality prvku je 0,6199, což se dá z hlediska kvality sítě považovat za dostatečné.



Obr. 3.5.5 Kvalita vygenerované sítě konečných prvků

Zatěžovací fáze

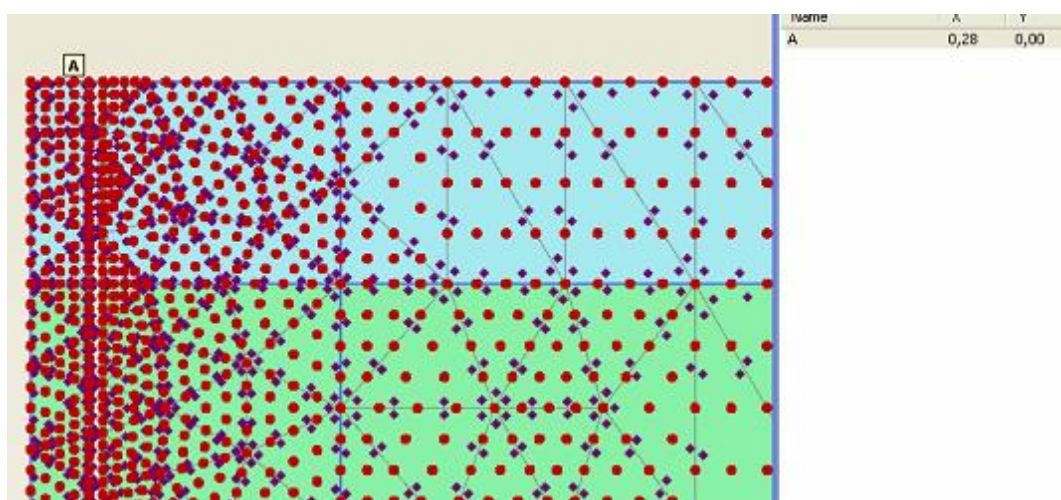
Zatížení piloty bylo modelováno pomocí předepsaného liniového přetvoření (*line displacement*) v hlavě piloty. Takto je na konstrukci nanášena požadovaná deformace a měří se přitom síla, která sedání vzdoruje. Po počáteční *initial* fázi následuje fáze *instalace piloty*, v níž jsou aktivovány clustery piloty. Následují fáze *sednutí*, v nichž je navíc aktivováno liniové přetvoření, jehož hodnota se s postupujícími fázemi zvyšuje vždy o 5 mm až na limitní hodnotu 25 mm (obr. 3.5.6).



Obr. 3.5.6 Zatěžovací fáze

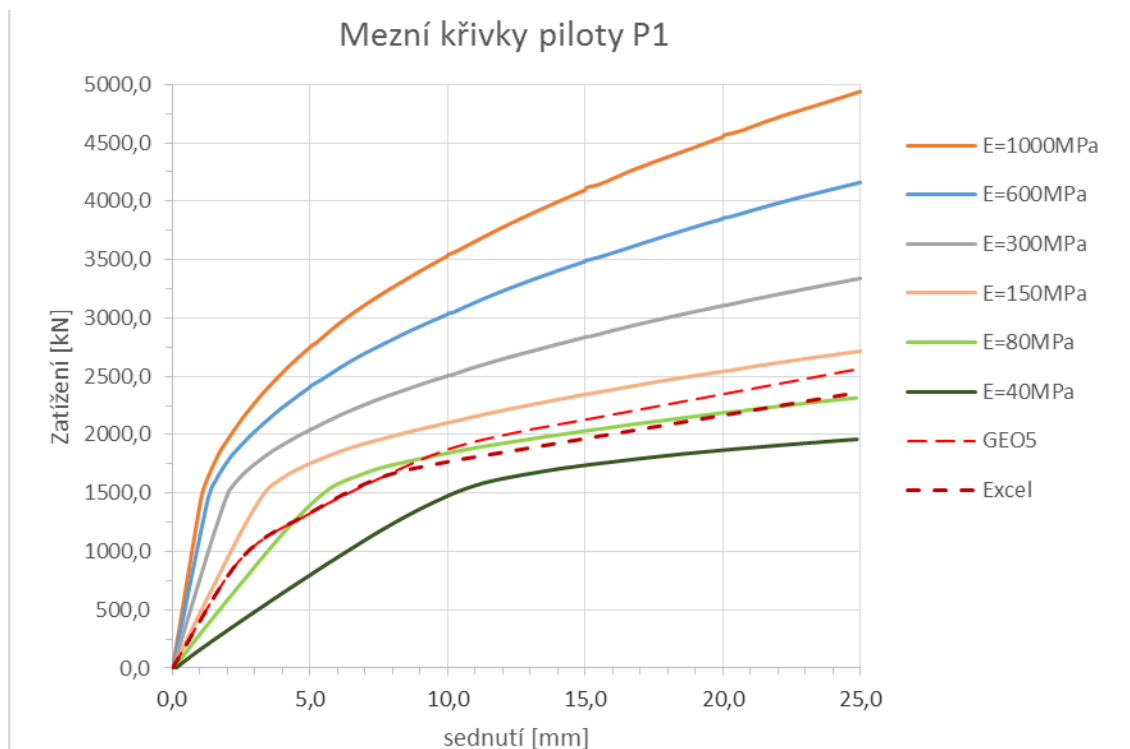
Výsledky

Pro vykreslení mezní zatěžovací křivky byl zvolen napěťový bod nacházející se v hlavě piloty (obr. 3.5.7). Napětí v patě piloty bylo zjištěno pomocí nástroje *cross-section*, kterým byl proveden řez těsně pod hranicí clusteru piloty. Bylo tak zjištěno normálového napětí σ_N [kN/m²] v jednotlivých fázích a přenásobením plochou dříku piloty byly získány hodnoty únosnosti paty.



Obr. 3.5.7 Napěťový bod

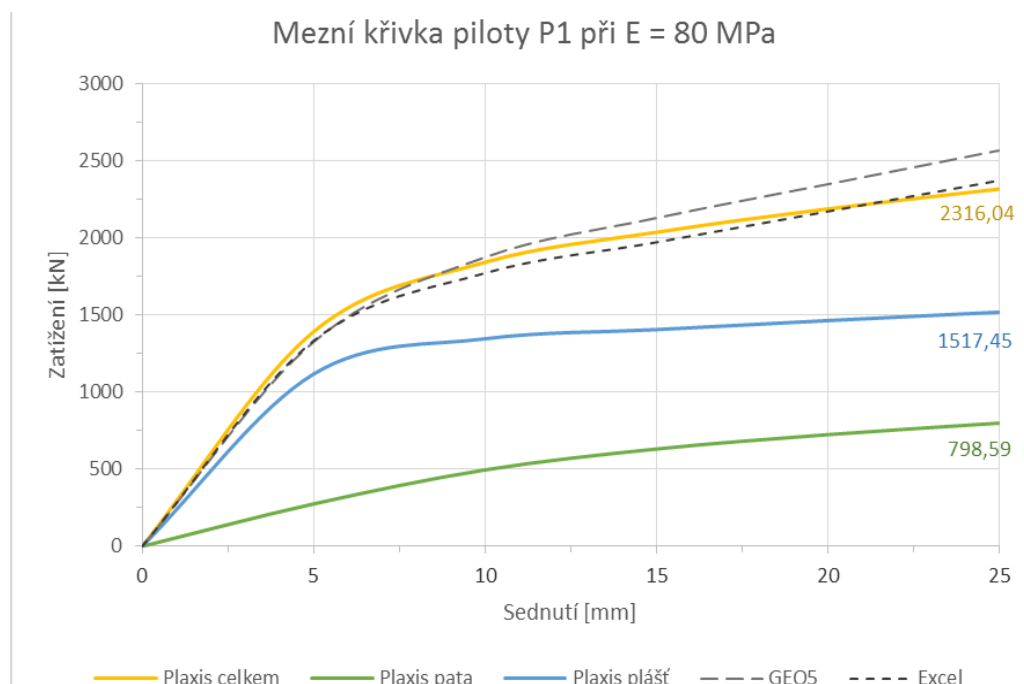
Výsledné zatěžovací křivky popisující závislost sednutí na zatížení jsou zobrazeny na obr. 3.5.8, doplněné o křivky vypočtené metodou podle Masopusta v GEO5 a Excel.



Obr. 3.5.8 Srovnání zatěžovacích křivek v závislosti na Youngově modulu břídlíce

Ze srovnání křivek na obr. 3.5.8 je vidět značný rozptyl únosností pro sednutí 25 mm pohybující se od 2000 do 5000 kN. Dále je patrné, že křivky vypočtené metodou podle Masopusta se nacházejí u spodní hranice tohoto rozsahu, což je podhodnocení na bezpečnou stranu. Výsledky programem Plaxis jsou velmi citlivé na zadané hodnoty přetvárných vlastností podloží. Je tedy důležité dbát na kvalitní inženýrsko – geologický průzkum a určení relevantních geotechnických parametrů.

Nejbližší průběh křivkám z GEO5 a Excel nastal při hodnotě modulu $E = 80 \text{ MPa}$. Zatěžovací křivka spolu s příspěvkem paty a pláště je vidět na obr. 3.5.9. Srovnání hodnot únosností a sednutí mezi programy Plaxis, GEO5 a Excel je shrnuto v tab. 3.5.11 a 3.5.12.



Obr. 3.5.9 Srovnání mezních křivek piloty P1 - Plaxis, GEO5, Excel

Z obrázku 3.5.9 je vidět, že při sednutí zhruba 7 mm bylo dosaženo mezního tření na plášti a to dále již zůstává téměř neměnné, přičemž roste příspěvek paty.

Tab. 3.5.11 Srovnání únosností piloty P1 při sednutí 25 mm - Plaxis, GEO5, Excel

2.MS	Použitý software	Únosnost paty [kN]	% z celk. únosn.	Únosnost pláště [kN]	% z celk. únosn.	Únosnost celková [kN]	% z celk. únosn.
Pilota P1	Excel	1035,54	43 %	1370,49	57 %	2406,03	100 %
	GEO5	1094,67	43 %	1473,29	57 %	2567,96	100 %
	Plaxis (E=80MPa)	798,59	34 %	1517,45	66 %	2316,04	100 %
	Plaxis (E=600MPa)	2063,40	50 %	2097,64	50 %	4161,04	100 %

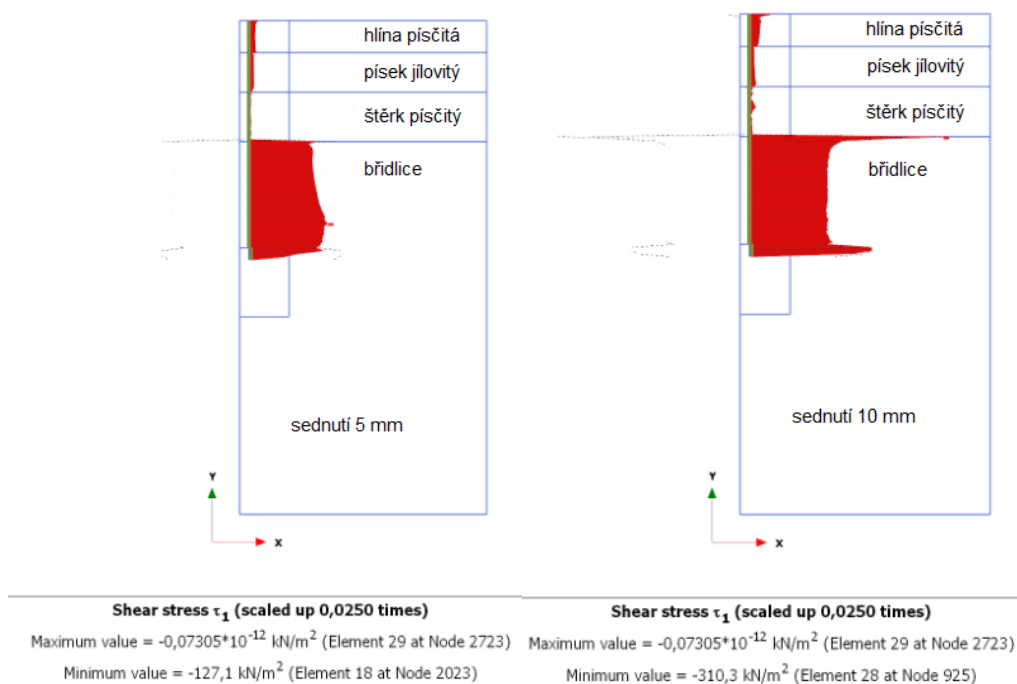
Tab. 3.5.12 Srovnání výpočtů sedání piloty P1 – Plaxis, GEO5, Excel

Pilota P1	Použitý software	Sednutí 5 mm	Sednutí 10 mm	Sednutí 15 mm	Sednutí 20 mm	Sednutí 25 mm	Sednutí s_E [mm]*
Zatíž. [kN]	Excel	1330,00	1768,68	1968,35	2168,01	2367,68	7,4
	GEO5	1325,81	1874,98	2130,10	2349,03	2567,96	7,4
	Plaxis (E=80MPa)	1391,01	1840,52	2035,46	2187,03	2316,04	6,8
	Plaxis (E=600MPa)	2407,58	3031,67	3483,86	3849,71	4161,04	1,7

*od zatížení $V_{Ek} = 1650$ kN

Tabulka 3.5.11 ukazuje, že při zvýšení modulu deformace břidlice roste podíl paty na celkové únosnosti. V tab. 3.5.12 potom vidíme, že velikost sednutí od působícího zatížení je při hodnotě Youngova modulu $E = 600$ MPa pouze 1,7 mm, což je výrazně méně než dává výpočet podle Masopusta, tedy 7,4 mm. Pro návrh pilot byl rozhodující výpočet pomocí programu Excel, jelikož dává nejkonzervativnější hodnoty.

Podle průběhů plášťového smykového napětí na rozhraní (obr. 3.5.10) můžeme vidět, že největší příspěvek plášťového tření má vrstva břidlice, zatímco svrchní tři vrstvy (hlína, písek, štěrk) vyvíjí pouze zlomek smykového napětí. Dá se tedy říci, že původní předpoklad neúnosnosti svrchních 2 vrstev měl své opodstatnění.



Obr. 3.5.10 Plášťové tření při sednutí 5 a 10 mm pro $E = 80$ MPa

3.5.4 Návrh výztuže

Piloty nejsou zatíženy vodorovným zatížením, a proto budou vyztuženy pouze na minimální stupeň vyztužení podle normy *ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby* a opatřeny spojovací výztuží pro spojení se základovými pasy.

Plocha betonu: $A_c = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,75^2 = 0,4418 \text{ m}^2 < 0,5 \text{ m}^2$

Podmínka pro výztuž: $A_s \geq 0,5 \% A_c = 0,005 \cdot 0,4418 = 2,209 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Návrh: $10 \text{ } \varnothing 18 \text{ mm} \rightarrow A_s = 2,545 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > 2,209 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow \text{splněno}$

Ovinutí: $\varnothing 10 \text{ mm}$, stoupání po 200 mm $> \varnothing 6 \text{ mm}$

Spojovací výztuž: $\varnothing 16$ délky 1800 mm

Stupeň vyztužení: $A_c < 0,5 \text{ m}^2 \rightarrow \rho_{min} = 0,005$

$$\rho_{max} = 0,04$$

Ověření stupně vyztužení:

$$\rho = 4 A_s / \pi d^2 = (4 \cdot 2,545 \cdot 10^{-3}) / (\pi \cdot 0,75^2) = 0,00576 > \rho_{min} \rightarrow \text{splněno}$$

$$< \rho_{max} \rightarrow \text{splněno}$$

3.6 Technologický postup prací

Pracovní plošina bude zřízena v hloubce cca 2 m pod původním terénem, v úrovni 305,7 m n. m. Pro zřízení pracovní plošiny se odstraní svrchní vrstva navážek až na danou úroveň. Stabilita stavební jámy bude zajištěna svahováním ve sklonu 1:1,5. Pracovní plošina bude zpevněna 0,3 m mocnou vrstvou zavalcované šterkodrti frakce 32/63 mm.

Vrt pro piloty bude proveden šapou průměru 630 mm a bude postupně zapážován ocelovými spojovatelnými pažnicemi průměru 750 mm. Po dovržení na projektovanou hloubku se provede vyčištění dna vrtu jedním až dvěma návrtky šapou navíc. Je potřeba průběžně provádět kontrolu geologie ve vrtech geotechnickým dozorem.

Piloty budou opatřeny armokošem, který sestává z 10 profilů 18 mm z oceli B500B ovinutých spirálou z profilu 10 mm a dále z montážních kruhů. Hlava piloty bude navíc opatřena spojovací výztuží, která sestává ze 4 profilů 16 mm délky 1800 mm. Pruty spojovací výztuže budou osazeny do čerstvého betonu po vybetonování hlavy piloty. Minimální krytí výztuže je uvažováno 100 mm. Detail napojení pilot na základový pas viz plán pilot (příloha č. 2).

Pro betonáž pilot bude použit beton třídy C30/37 se složením dle ČSN EN 206-1 *Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Betonáž bude provedena sypákovou rourou o vnitřním průměru minimálně 150 mm, přičemž vnější rozměry roury by neměly přesáhnout 250 mm. Postupně budou vytahovány ocelové pažnice, přičemž sypáková roura musí být neustále ponořena v čerstvém betonu alespoň 1,5 m. Současně s betonáží bude odčerpávána podzemní voda, bude-li to zapotřebí. Hlavu piloty je nutno přebetonovat, aby po odpažení neklesla pod projektovanou úroveň [3].

4 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl proveden návrh hlubinného založení stavby domova seniorů v Plzni. Podkladem pro návrh byly inženýrsko – geologický průzkum provedený v místě staveniště a schéma zatížení vycházející ze statického výpočtu svrchní stavby. Byl proveden výpočet pro 1. i 2. mezní stav s využitím programu vytvořeném v tabulkovém procesoru Excel, jehož výsledky byly srovnány s výsledky získanými pomocí programu GEO5. Na závěr bylo provedeno srovnání s výstupy z programu Plaxis 2D. Návrh a posouzení byl proveden podle normy ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 pro návrhový přístup 2.

Výsledky získané postupem podle Masopusta z programů GEO5 a Excel si vzájemně odpovídaly. Při srovnání s výstupem z programu Plaxis se však výsledky rozcházely částečně z důvodu pouze orientačních hodnot modulu deformace podložních břídlíc doporučených IG průzkumem na základě již neplatné normy ČSN 73 1001. Bylo tedy provedeno srovnání pro různé hodnoty přetvárných charakteristik, které ukázalo, že únosnosti zjištěné z GEO5 a Excel klasickým postupem vykazují nižší hodnoty na bezpečnou stranu.

Byly navrženy vrtané piloty pažené ocelovými pažnicemi. Piloty byly nadimenzovány na 2. MS tak, aby vzhledem k citlivosti konstrukce na nerovnoměrné sedání bylo sednutí při maximálním působícím zatížení rovno přibližně 8 mm. Vzhledem k měnícím se intenzitám zatížení uvnitř a na okrajích základů byly z ekonomických důvodů navrženy piloty ve třech délkových provedeních P1, P2 a P3. Kvůli jednoduchosti provádění byl zvolen po délce konstantní průměr dříku 750 mm pro všechny piloty. Piloty jsou součástí tuhého základu a jsou tedy zatíženy převážně svislým zatížením. Budou však opatřeny výztuží navrženou na minimální stupeň vyztužení a také spojovací výztuží pro napojení na základové pásy. Na základě návrhu byl vypracován plán pilot s jejich umístěním, schématem vyztužení a detaily napojení na svrchní základovou konstrukci.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MASOPUST, Jan. Speciální zakládání staveb. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 2 sv. (141, 150 s.). ISBN 80-214-2770-1.
- [2] MASOPUST, Jan. Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997. 1. vyd. Praha: Pro ČKAIT vydalo IC ČKAIT, 2012, 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [3] MASOPUST, Jan. Vrtané piloty. Čeněk a Ježek, 1994.
- [4] TURKOVÁ, Hana. Zpráva IG průzkumu, Plzeň - Domov seniorů. Brno: fa BALUN, 2014.
- [5] FINE SPOL. S.R.O. Parametry hornin. Fine [online]. Praha: Fine spol. s r.o., 2015 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z:
<http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/parametry-hornin-01/>
- [6] INSTITUT GEOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ, VŠB - TUO. Technika a technologie hlubinného vrtání. Geologie.vsb.cz [online]. Ostrava: VŠB – TUO, 2015 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/TECHHILDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtneNastroje.html>
- [7] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla. 1. Praha: ČNI, 2006.
- [8] ČSN EN 1997-2 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. 1. Praha: ČNI, 2006.
- [9] SVAZ VÝROBCŮ BETONU ČR. Průvodce betonářskou normou ČSN EN 206-1 Změna Z3. Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: SVB, 2009.
- [10] UTÍKAL, A. a J. ČEJKA. Statický výpočet Domova pro seniory v Plzni. Brno: fa A+Z PROJEKTteam, s r. o., 2014.
- [11] VALÍK, J. Zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu základové půdy pro II. etapu výstavby sídliště Jižní svahy v Gottwaldově. Geotest Brno, 1973.
- [12] ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. Praha: ČNI, 1988.
- [13] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2. Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2011.

6 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

I_D	relativní ulehlost
I_C	stupeň konzistence
A_c	jmenovitá průřezová plocha dříku piloty
A_s	průřezová plocha podélné výztuže piloty
d	průměr dříku piloty
d_c	průměr zrna kameniva betonu
v/c	vodní součinitel betonu
\varnothing	průměr
IG	inženýrsko – geologický (průzkum)
HPV	hladina podzemní vody
1. MS	první mezní stav
2. MS	druhý mezní stav
σ_c	pevnost horniny v prostém tlaku
$\gamma, \gamma_{\text{unsat}}$	objemová tíha nad vodou
γ_{sat}	objemová tíha (zeminy) pod vodou
φ_{ef}	efektivní úhel vnitřního tření
φ_u	totální úhel vnitřního tření
c_{ef}	efektivní soudržnost
c_u	totální soudržnost
E_{def}	modul deformace
E_s	sečnový modul deformace
E	Youngův modul
V_k, V_{Ek}	charakteristická hodnota působícího svislého zatížení
V_d, V_{Ed}	návrhová hodnota působícího svislého zatížení
s_E	sednutí od charakteristické hodnoty působícího zatížení
d	průměr dříku piloty
L	délka piloty

L_k	délka vetknutí piloty do skalního podloží
K_0	součinitel bočního tlaku zeminy v klidu
σ_N	normálové napětí
ρ_{\min}	minimální stupeň vyztužení
ρ_{\max}	maximální stupeň vyztužení
ρ	stupeň vyztužení piloty

7 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1.1 Průměry varných a spojovatelných pažnic a vrtného nářadí v mm [1]	13
Tab. 2.1.2 Minimální vyztužení železobetonových vrtných pilot [1]	14
Tab. 2.1.3 Doporučený průměr příčné výztuže [1]	14
Tab. 2.1.4 Složení čerstvého betonu pro betonáž pilot [1]	16
Tab. 2.1.5 Stupeň rozlití a sednutí čerstvého betonu pro betonáž pilot [1]	16
Tab. 3.1.1 Geomorfologické zatřídění lokality	21
Tab. 3.3.1 Geotechnické parametry základové půdy	24
Tab. 3.4.1 Přehled navržených pilot	28
Tab. 3.5.1 Dílčí součinitele pro pilotové základy - návrhový přístup 2 [7]	29
Tab. 3.5.2 Dílčí součinitele únosnosti pro vrtné piloty [7]	29
Tab. 3.5.3 Regresní koeficienty pro jednotlivé typy zemin a hornin [1]	33
Tab. 3.5.4 Sečnové moduly deformace pro poloskalní horniny v MPa [1]	35
Tab. 3.5.5 Sečnové moduly deformace pro hrubozrnné zeminy v MPa [1]	35
Tab. 3.5.6 Sečnové moduly deformace pro jemnozrnné zeminy v MPa [1]	35
Tab. 3.5.7 Výsledky výpočtu Excel x GEO5 na základě 1. MS	38
Tab. 3.5.8 Výsledky výpočtu Excel x GEO5 na základě 2. MS	38
Tab. 3.5.9 Hodnoty zjištěných deformačních modulů jílovce [11]	41
Tab. 3.5.10 Parametry použitých materiálů	41
Tab. 3.5.11 Srovnání únosností piloty P1 při sednutí 25 mm - Plaxis, GEO5, Excel	45
Tab. 3.5.12 Srovnání výpočtů sedání piloty P1 – Plaxis, GEO5, Excel	46

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1.1 Vrtné nástroje [6]	12
Obr. 2.1.2 Stupeň vlivu prostředí pro vrtané piloty [9].....	15
Obr. 2.1.3 Minimální třída betonu pro st. vlivu prostředí XA1 [9].....	16
Obr. 3.1.1 Mapa znázorňující zájmové území	19
Obr. 3.1.2 Družicový snímek se zakreslením staveniště.....	20
Obr. 3.2.1 Výřez z geologické mapy 1:50 000 v měř. 1:25 000, č. map. listu 12-33	22
Obr. 3.3.1 Umístění vrtaných sond V-1 až V-3	23
Obr. 3.3.2 Zvolený geologický profil - sonda V-3.....	23
Obr. 3.4.1 Schéma zatížení ze svrchní stavby.....	25
Obr. 3.4.2 Schéma rozmístění pilot - hodnoty zatížení pro 1. MS.....	26
Obr. 3.4.3 Schéma rozmístění pilot - hodnoty zatížení pro 2. MS.....	27
Obr. 3.5.1 Mezní zatěžovací křivka piloty	32
Obr. 3.5.2 Příčinkový součinitel sedání I_1 a korekční součinitel R_k	34
Obr. 3.5.3 Mezní zatěžovací křivka piloty P1	37
Obr. 3.5.4 Geometrie modelu.....	40
Obr. 3.5.5 Kvalita vygenerované sítě konečných prvků	42
Obr. 3.5.6 Zatěžovací fáze	43
Obr. 3.5.7 Napětový bod	43
Obr. 3.5.8 Srovnání zatěžovacích křivek v závislosti na Youngově modulu břídlíce	44
Obr. 3.5.9 Srovnání mezních křivek piloty P1 - Plaxis, GEO5, Excel	45
Obr. 3.5.10 Plášťové tření při sednutí 5 a 10 mm pro $E = 80 \text{ MPa}$	46

9 SEZNAM PŘÍLOH

1. Průzkumné vrty – geologické profily
2. Plán pilot M 1:500
3. Výpočet pilot v programu Excel
4. Výstupy z programu GEO5 – Pilota